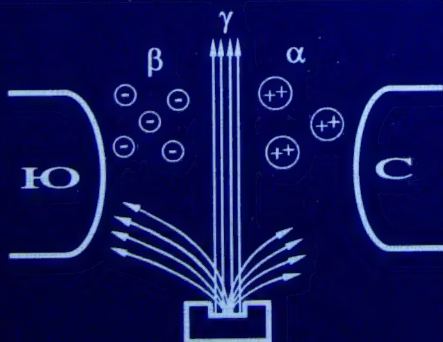
М. П. ДАРАШКЕВІЧ
Л. Б. ГАПАНОВІЧ

АСНОВЫ РАДЫЯЦЫЙНАЙ БЯСПЕКІ



М. П. ДАРАШКЕВІЧ   Л. Б. ГАПАНОВІЧ

АСНОВЫ РАДЫЯЦЫЙНАЙ БЯСПЕКІ

Дапушчана Міністэрствам адукацыі і навукі
Рэспублікі Беларусь у якасці вучэбнага дапаможніка
для студэнтаў гуманітарных факультэтаў
вышэйшых навучальных устаноў

Мінск
«Вышэйшая школа»
1995

ББК 51.26я73
Д 20
УДК 614.876(075.8)

Рэцэнзенты: кафедра фізікі Беларускай дзяржаўнай палітэхнічнай акадэміі; канд. фіз.-мат. навук, дац. А. М. Люцко (Міжнародны Сахараўскі каледж па радыеэкалогіі); д-р біял. навук С. М. Чаранкевіч (Беларускі дзяржаўны універсітэт)

Дарашкевіч М. П., Гапановіч Л. Б.
Д 20 Асновы радыяцыйнай бяспекі: Вучэб. дапаможнік. — Мн.: Выш. шк., 1995. — 127 с.: іл.
ISBN 985-06-0050-0.

Разгледжаны асноўныя ўласцівасці выпраменьвання і працэсы іх узаемаадносін з навакольным асяроддзем; дазіметрычныя велічыні радыеактыўнасці і адзінкі іх вымярэння; прылады і метады кантролю радыеактыўнага забруджвання вонкавага асяроддзя; пытанні ўплыву радыяцыі на арганізм чалавека; гігіенічныя аспекты радыяцыйнай бяспекі насельніцтва (нормы і правілы бяспекі, асабліва ў раёнах, забруджаных пасля аварыі на ЧАЭС); асноўныя дозавыя межы апраменьвання і іх дапушчальныя ўзроўні; санітарныя нормы работы з крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў і г. д. Прыведзены даныя аб ліквідацыі радыяцыйных вынікаў аварыі на Чарнобыльскай АЭС.
Для студэнтаў гуманітарных факультэтаў ВНУ.

Д $\frac{6140876000-041}{М304(03)-95}$ 32 — 95 ББК 51.26я73

ISBN 985-06-0050-0

ПРАДМОВА

Мы жывём у эпоху імклівага развіцця атамнай энергетыкі. У наш час няма, бадай, ніводнай галіны народнай гаспадаркі, у якой бы не выкарыстоўвалася энергія атама. Аднак трэба ўлічваць, што працэс мірнага выкарыстання атамнай энергіі суправаджаецца шкодным уздзеяннем радыяцыі, якая выпраменьваецца пры распадах атамных ядзер.

У сувязі з аварыяй на Чарнобыльскай атамнай электрастанцыі (ЧАЭС) на нашу зямлю прыйшла радыяцыя, якая будзе нагадваць аб сабе не адно стагоддзе. Ад яе нельга пазбавіцца, з ёй давядзецца жыць нашым дзецям і ўнукам. Таму кожны жыхар Рэспублікі Беларусь павінен ведаць аб энергіі іанізуючага выпраменьвання не менш, чым аб любым іншым відзе энергіі — механічнай, цеплавой, электрычнай.

Згодна з Дзяржаўнай праграмай па ліквідацыі ў Беларусі вынікаў аварыі на Чарнобыльскай АЭС Міністэрства адукацыі і навукі рэспублікі прапанавала ўвесці ў вышэйшых навучальных установах спецыяльны курс «Радыяцыйная бяспека і пытанні аховы навакольнага асяроддзя». Разам з тым цяпер яўна не стае даведачнай літаратуры, якая б папулярна тлумачыла, што такое бекерэль, грэй, зіверт і як ва ўмовах радыяцыі зберагчы сваё здароўе. Ліквідаваць гэты недахоп — мэта дадзенага вучэбнага дапаможніка. Ён змяшчае асновы ведаў па пытаннях радыяцыйнай бяспекі.

Зразумела, што ў дапаможніку галоўная ўвага надаецца тым радыенуклідам, якія трапляюць у арганізм чалавека разам з ежай, вадой, паветрам. Яны разбураюць жывыя клеткі і адпаведна органы, тканкі, гены. На думку радыебіёлагаў, канцэпцыя радыяцыйных доз і іх уздзеянне на жывы арганізм маюць шмат агульнага з медыцынскім прызначэннем лекаў. Напрыклад, амаль неймаверна, каб адна таблетка аспірыну пашкодзіла каму-небудзь, аднак ужыванне 100 таблетак аспірыну можа мець сур'ёзныя вынікі і нават прывесці да лятальнага канца. Аналагічна дробная доза радыяцыі — гэта практычна неадчувальнае ўздзеянне на арганізм чалавека, у той час як вялікая доза можа выклікаць сур'ёзныя парушэнні ў дзейнасці арганізма. Трэба ўлічваць і час уздзеяння дозы: аднаразовае ўжыванне 100 таблетак аспірыну можа забіць чалавека, тады як, ужываючы тыя ж 100 таблетак на працягу года, мы наўрад ці

пашкодзім арганізму. Падобныя заканамернасці дзейнічаюць і ў адносінах да доз апраменьвання.

Некаторыя спецыялісты лічаць, што пасля аварыі на ЧАЭС на фоне ўсеагульнай трывогі і заклапочанасці яе вынікамі з прычыны шэрага фактараў (за галоўны сярод іх прымаецца дэфіцыт радыебіялагічных ведаў) шмат у каго з жыхароў Беларусі ўзнік стан, звязаны з пастаянным чаканнем адмоўнага ўздзеяння радыяцыі на здароўе не пры якіх-небудзь пэўных дозах апраменьвання, а ўвогуле радыяцыі як такой. Такі стан людзей атрымаў назву «радыефобіі» (боязь дзеяння выпраменьвання без якіх-небудзь сур'ёзных падстаў). Ён перш за ўсё характэрны для тых жыхароў Беларусі, што пражываюць паблізу ад аб'ектаў атамнай энергетыкі.

Тым не менш кожны канкрэтны выпадак трэба разглядаць індывідуальна, каб з-за стану чалавека, абумоўленага «радыефобіяй», не прагледзець вынікі пачатковага ўздзеяння радыяцыі на арганізм. Для гэтага неабходна, каб медыкі пастаянна назіралі за станам здароўя насельніцтва пацярпеўшых раёнаў з улікам рэальных доз, атрыманых канкрэтным чалавекам. Патрэбна поўная і дакладная інфармацыя аб радыяцыйнай сітуацыі ў кожным населеным пункце забруджанай зоны.

У дапаможніку зроблена спроба ў даступнай форме разгледзець асновы дазіметрыі, дзеянне радыяцыі на арганізм, а таксама даць інфармацыю аб розных сродках аховы арганізма ад выпраменьвання.

Праца абагульняе звесткі з публікацый апошніх гадоў.

Аўтары выказваюць сардэчную падзяку рэцэнзентам: канд. фіз.-мат. навук А. М. Люцко, канд. фіз.-мат. навук П. Г. Кужыру, д-ру біял. навук С. М. Чаранкевічу за цэнныя заўвагі, выказаныя з мэтай паляпшэння зместу дапаможніка, і з удзячнасцю прымуць усе заўвагі, пажаданні і ўлічаць іх у далейшым.

Аўтары

УМОЎНЫЯ СКАРАЧЭННІ

АБЭ — адносная біялагічная эфектыўнасць
АСП — асноўныя санітарныя правілы
ВПХ — вострая прамянёвая хвароба
ГДД — гранічна дапушчальная доза
Д — доза
ДУ — дапушчальнае ўтрыманне
ІДК — індывідуальны дазіметрычны кантроль
КЭД — калектыўная эфектыўная доза
КЯ — каэфіцыент якасці
ЛПЭ — лінейная перадача энергіі
МАГАТЭ — Міжнароднае агенцтва па атамнай энергіі
МД — мяжа дозы
МЗА — мінімальная значная актыўнасць
МКРА — Міжнародная камісія па радыяцыйнай ахове
НКДАР — Навуковы камітэт па дзеянні атамнай радыяцыі ААН
НКРА — Нацыянальная камісія па радыяцыйнай ахове
НРБ — нормы радыяцыйнай бяспекі
СААЗ — Сусветная арганізацыя па ахове здароўя
ТВФ — тэхнагенны фон выпраменьвання
ХПХ — хранічная прамянёвая хвароба
ЦЭС — цеплавая электрастанцыя
ЭД — эфектыўная доза
ЯПЦ — ядзерны паліўны цыкл

Глава 1. РАДЫЕАКТЫЎНАСЦЬ І АСНОЎНЫЯ ЎЛАСЦІВАСЦІ ІАНІЗУЮЧЫХ ВЫПРАМЕНЬВАННЯЎ

АГУЛЬНЫЯ ЗВЕСТКІ

Усе хімічныя элементы складаюцца з атамаў, якія валодаюць іх свойствамі. Слова «атам» паходзіць ад грэч. «атамас» — непадзельны. Аж да 19 ст. была распаўсюджана думка, што атамы з'яўляюцца найдрабнейшымі элементарнымі (г. зн. непадзельнымі) часцінкамі. Аднак далейшае развіццё навукі абвергла гэты пункт гледжання.

Важнай навуковай падзеяй з'явілася адкрыццё ў 1895 г. рэнтгенаўскіх прамянёў (названы ў гонар першаадкрывальніка — нямецкага фізіка В. Рэнтгена), якія маюць вялікую пранікальную здольнасць. Перыядычны закон Дз. І. Мендзялеева стымуляваў вывучэнне будовы атама. Непасрэдным доказам складанай атамнай будовы было адкрыццё А. Бекерэлем (1896) невядомага дагэтуль выпраменьвання соляў урану. Хутка высветлілася, што такімі ж уласцівасцямі валодаюць і іншыя рэчывы. У 1898 г. Марыя Складоўская-Кюры і Г. Шміт выявілі выпраменьванне торыю. У далейшым тытанічныя намаганні па перапрацоўцы значных мас руды, якая ўтрымлівала уран і торый, дазволілі М. Складоўскай-Кюры і яе мужу П'еру Кюры вылучыць яшчэ два новыя хімічныя элементы. Адзін з іх атрымаў назву палоній (у памяць аб польскай радзіме Складоўскай-Кюры), другі ж, які забяспечваў асабліва інтэнсіўнае выпраменьванне, вырашылі назваць радыем (ад лац. «прамень»).

Затым прыйшоў час доследаў Э. Рэзерфорда (1911), якія канчаткова абверглі ўяўленне аб непадзельнасці атама і пераканаўча паказалі, што ён мае складаную будову, падобную да будовы планетарнай сістэмы. У цэнтры атама знаходзіцца ядро, а вакол яго (падобна планетам вакол Сонца) рухаюцца электроны.

Наступны істотны крок даследчыкаў паказаў, што ядро атама складаецца з пратонаў і нейтронаў. Агульная іх назва — н у к л о н ы (ад лац. nucleus — ядро). Пад тэрмінам «нуклон» трэба разумець пратон або нейтрон. Пратоны і нейтроны пабудаваны з яшчэ больш дробных часцінак — к в а р к а ў. У далейшым мы не будзем разглядаць гэтыя часцінкі, паколькі механізм іх дзеяння — справа ядзернай фізікі.

Я д р о размяшчаецца ў цэнтры атама і займае вельмі нязначную частку яго аб'ёму. Выяўлена, што памеры атама састаўляюць прыблізна 10^{-10} м, а ядра — 10^{-15} м.

Пратоны і нейтроны належаць да ліку элементарных часцінак. Іх асноўнымі характарыстыкамі з'яўляюцца электрычны зарад, маса і ўстойлівасць. Масу ядзер і элементарных часцінак звычайна вызначаюць у так званых атамных адзінках масы (а.а.м.). За 1 а.а.м. прымаецца 1/12 масы ізатопа атама вугляроду-12, значыць, 1 а.а.м. прыблізна складае $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг. Шчыльнасць ядзернага рэчыва надзвычай вялікая (парадку 116 млн т на масу 1 $см^3$ ядра), паколькі амаль уся маса (99,9 %) атама канцэнтруецца ў ядры.

Пратоны належаць да так званых устойлівых (стабільных) часцінак. Яны ўваходзяць у склад любога атамнага ядра з дадатным зарадам, які вызначаецца колькасцю пратонаў у дадзеным ядры. Або інакш: па колькасці пратонаў у ядры і вызначаецца хімічны элемент. Напрыклад, колькасць пратонаў у атамных ядрах розных хімічных элементаў наступная: вадароду — 1, кальцыю — 20, урану — 92 і г. д. Такім чынам, кожны элемент мае дакладна вызначаную колькасць пратонаў, якая адпавядае парадкаваму (атамнаму) нумару элементаў у Перыядычнай сістэме Мендзялеева.

Нейтроны з'яўляюцца незараджанымі часцінкамі. У свабодным стане яны няўстойлівыя і існуюць прыблізна 11 — 16 хвілін. Разам з пратонамі нейтроны ствараюць атамныя ядры. Як і пратоны, нейтроны знаходзяцца ў любым атамным ядры, апроч ядра лёгкага вадароду, якое складаецца толькі з аднаго пратона. Але ў ядры нейтроны робяцца ўстойлівымі. Маса нейтрона (1,00897 а.а.м.) амаль не адрозніваецца ад масы пратона (1,00758 а.а.м.). Пры гэтым нейтроны (як і пратоны) па сваёй масе прыблізна ў 1840 разоў перавышаюць масу электрона.

Сума лікаў ядзерных пратонаў і нейтронаў — гэта цэлы лік, які атрымаў назву масавага ліку. Яго запісваюць злева ўверсе, а зарад ядра — злева ўнізе ад сімвала*, напрыклад $^{22}_{11}Na$. Гэта азначае, што ядро атама натрыю мае масавы лік 22 і складаецца з 11 пратонаў і 11 нейтронаў.

Ядзерныя пратоны і нейтроны моцна звязаны адзін з адным, паколькі паміж імі дзейнічаюць ядзерныя сілы прыцяжэння, якія ўтрымліваюць нуклоны ў ядрах. Энергія сувязі часцінак у ядрах складае некалькі мільёнаў электрон-вольтаў. Выяўлена, што ядзерныя сілы, якія дзейнічаюць у парах ядзерных часцінак (пратон — пратон, пратон — нейтрон, нейтрон — нейтрон), аднолькавыя,

---

* Кожны хімічны элемент абазначаецца адмысловым знакам (сімвалам), які рэпрэзентуе першую або першую і адну з наступных літар лацінскай назвы элемента. Так, для вадароду сімвалам з'яўляецца літара H, для натрыю — Na, для стронцыю — Sr і г. д.

г. зн. ядзерныя сілы не залежаць ад зараду часцінак. Характэрная асаблівасць ядзерных сіл заключаецца ў тым, што яны дасягаюць надзвычай вялікай велічыні на вельмі малых адлегласцях (парадак памераў ядра 10^{-15} м), дзякуючы чаму часцінкі ядра моцна прыцягваюцца адна да адной. Пры павелічэнні гэтай адлегласці ядзерныя сілы так рэзка змяншаюцца, што на іх практычна можна не звяртаць увагі. Адзначым таксама, што паміж аднайменна зараджанымі пратонамі дзейнічаюць электрастатычныя сілы адштурхвання. У большасці элементаў ядзерныя сілы прыцяжэння перавышаюць сілы адштурхвання, чым і тлумачыцца ўстойлівасць ядзер гэтых атамаў.

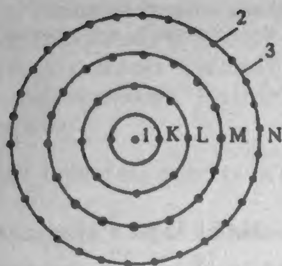
Аднак у цяжкіх элементаў, ядры якіх складаюцца з вялікай колькасці часцінак (напрыклад, торый-234 складаецца з 90 пратонаў і 144 нейтронаў), электрастатычныя сілы адштурхвання перавышаюць сілы прыцяжэння. У гэтым выпадку пачынаюцца працэсы самаадвольнага ператварэння (распаду) ядзер з менш устойлівага стану ў стан з большай устойлівасцю. Такі працэс атрымаў назву р а д ы е а к т ы ў н а с ц і. Аб ёй будзе сказана ніжэй.

Вакол ядра па замкнутых арбітах рухаюцца э л е к т р о н ы, якія маюць адмоўны электрычны зарад. Магчымыя арбіты электронаў у атаме аб'ядноўваюцца ў сістэму абалонак, кожная з якіх утрымлівае пэўную колькасць арбіт. Электронныя абалонкі размяшчаюцца на розных адлегласцях адна ад адной. Бліжэйшай да ядра з'яўляецца абалонка K, якая ўтрымлівае 2 арбіты (2 электроны); у наступную абалонку L уваходзіць 8 арбіт (8 электронаў). Трэцяя абалонка M мае 18 арбіт (18 электронаў), затым ідзе абалонка N з 32 арбітамі (32 электроны) і г. д. (рыс. 1). Такім чынам, кожная абалонка можа ўтрымліваць толькі пэўную колькасць электронаў.

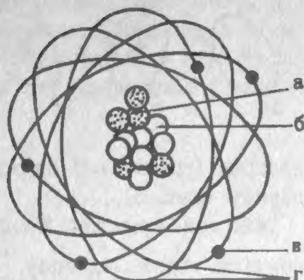
Электроны вонкавай абалонкі найменш трывала звязаны з ядром. Іх называюць в а л е н т н ы м і. Памеры электронных абалонак вызначаюцца памерамі атама.

Сумарны зарад усіх атамных электронаў па абсалютнай велічыні роўны дадатнаму зараду ядра, таму атам у цэлым электранейтральны. Інакш кажучы, колькасць атамных электронаў супадае з колькасцю ядзерных пратонаў. Парадкавы нумар элемента адпавядае колькасці пратонаў у ядры, а таксама колькасці электронаў у электронных абалонках.

Паміж электронамі і ядром дзейнічае сіла прыцяжэння, якая выклікае радыяльнае (цэнтраімклівае) паскарэнне электронаў. Дзякуючы гэтаму лёгкія электроны круцяцца вакол цяжкага ядра па кругавых або эліптычных арбітах. Апроч арбітальнага руху вакол ядзер, электроны ўдзельнічаюць і ў вярчальным руху вакол уласнай восі.



Рыс. 1. Умоўная схема атамных электронных абалонак:
1 — ядро; *2* — электроны;
3 — электронныя абалонкі



Рыс. 2. Будова атама:
а — пратон; *б* — нейтрон; *в* — электрон; *г* — арбіты

На заканчэнне нашага сціслага апісання будовы атама можна зрабіць выснову, што а т а м — гэта найдрабнейшая часцінка хімічнага элемента, якая захоўвае ўсе яго ўласцівасці. Атам з'яўляецца сістэмай узаемадзеючых элементарных часцінак, якая складаецца з пратон-нейтроннага адра і атамных электронаў (рыс. 2).

ІЗАТОПЫ І НУКЛІДЫ

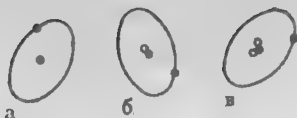
Пры ўсіх хімічных рэакцыях адбываецца перабудова толькі электронных абалонак, прычым вонкавых, на якіх электроны найбольш слаба звязаны з ядром. Ядро ж не ўдзельнічае ў хімічных рэакцыях.

Змяненне колькасці пратонаў у атамным ядры выклікае змяненне хімічнага складу элемента, г. зн. утварэнне элементаў з новым парадкавым нумарам. У той жа час пры змяненні колькасці ядзерных нейтронаў хімічныя ўласцівасці элемента не змяняюцца.

У прыродзе існуе шмат рэчываў з аднолькавай колькасцю пратонаў у атамных ядрах, але з рознай колькасцю нейтронаў, г. зн. з рознымі масавымі лікамі.

Атамы, якія маюць ядры з аднолькавай колькасцю пратонаў, але адрозніваюцца па колькасці нейтронаў, з'яўляюцца разнастайнасцямі аднаго і таго ж хімічнага элемента і называюцца і з а т о п а м і дадзенага хімічнага элемента.

Так, калі да ядра атама вадароду, які складаецца з аднаго пратона, далучыць адзін нейтрон, то атрымаем рэчыва з масавым лікам 2 — цяжкі вадарод (дэйтэрый). Далучыўшы яшчэ адзін нейтрон, атрымаем масавы лік атамнага ядра 3 — звышцяжкі



Рыс. 3. Будова ізатопаў вадароду:
а — вадарод; *б* — дэйтэрый; *в* — трытый

вадарод (трытый). І дэйтэрый, і трытый з'яўляюцца ізатопамі вадароду (рыс. 3).

Або такі прыклад. Кісларод атмасферы і зямной кары з'яўляецца сумессю трох ізатопаў: ${}^{16}_{8}$ кісларод (99,76 %), ${}^{17}_{8}$ кісларод (0,04 %), ${}^{18}_{8}$ кісларод (0,20 %). Гэта паказвае, што тэрмін «ізатоп» трэба ўжываць толькі ў тых выпадках, калі мы разглядаем атамы аднаго і таго ж элемента. Цяпер ужо выяўлена існаванне ізатопаў для ўсіх хімічных элементаў, аднак не ўсе элементы маюць стабільныя ізатопы.

Для сціслага абазначэння ізатопаў да сімвала хімічнага элемента дапісваюць лік, роўны масаваму ліку дадзенага ізатопа. Так, ${}^{17}O$ — ізатоп кіслароду з масавым лікам 17; ${}^{37}Cl$ — ізатоп хлору з масавым лікам 37; ${}^{226}Ra$ — ізатоп радыю з масавым лікам 226 і г. д. Калі-нікалі ўнізе злева адзначаюць парадкавы нумар элемента ў Перыядычнай сістэме Мендзялеева: ${}^{16}_{8}O$, ${}^{37}_{17}Cl$, ${}^{226}_{88}Ra$ і г. д.

Адрозніваюць устойлівыя (нерадыеактыўныя, стабільныя) і няўстойлівыя (радыеактыўныя, нестабільныя) ізатопы. Апошнія могуць ператварацца ў іншыя ізатопы.

Н у к л і д — гэта ядро атама з дадзенай колькасцю пратонаў і нейтронаў у ім, якое характарызуецца масавым лікам і парадкавым (атамным) нумарам. Інакш кажучы, ядры ўсіх ізатопаў хімічных элементаў называюць нуклідамі.

Тэрмін «нуклід» рэкамендуецца выкарыстоўваць у тых выпадках, калі разглядаюцца атамы розных хімічных элементаў (напрыклад, сумесь радыенуклідаў невядомага працэнтнага складу, радыенукліды стронцыю-90, ёду-131, урану-235).

Нукліды можна апісваць любымі двума параметрамі з трох: A — масавы лік; Z — зарад ядра (звязаны з колькасцю пратонаў); N — колькасць нейтронаў у ядры. Сувязь паміж імі вызначаецца наступным чынам:

$$A = Z + N; \; Z = A - N; \; N = A - Z.$$

Напрыклад, ${}^{87}_{38}Sr$ азначае, што ядро стронцыю ўтрымлівае 38 пратонаў і 49 нейтронаў (масавы лік 87).

Некаторыя нукліды з'яўляюцца няўстойлівымі, яны ўвесь час удзельнічаюць у розных ядзерныхператварэннях. Большая ж колькасць вядомых нуклідаў устойлівая, гэта значыць, што пры адсутнасці вонкавага ўздзеяння яны ніколі не ператвараюцца ў іншыя нукліды.

РАДЫЕАКТЫЎНАСЦЬ

У атамных ядрах пратоны і нейтроны знаходзяцца ў стане безупыннага руху, гэта значыць, што яны валодаюць ядзернай энергіяй, якая канцэнтруецца ў атамным ядры.

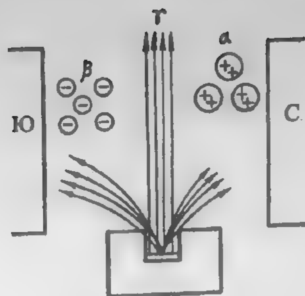
Для вызвалення ўнутрыядзернай энергіі неабходна выклікаць такія рэакцыі, пры якіх будзе змяняцца будова саміх атамных ядзер. Пры гэтым ствараюцца ядры новых элементаў з вызваленнем рознай колькасці энергіі. Пад *ядзернай энергіяй* трэба разумець унутраную энергію ядзер, якая вылучаецца пры ядзерных рэакцыях.

Ёсць нукліды, здольныя да самаадвольных ядзерных ператварэнняў. Такія нукліды называюцца радыеактыўнымі (радыенукліды), а сам працэс — радыеактыўнасцю або радыеактыўным распадам. Такім чынам, *радыенуклід* — гэта нуклід, які валодае радыеактыўнасцю, а *радыеактыўнасць* — самаадвольнае ператварэнне радыенуклідаў у іншыя нукліды, якое суправаджаецца іанізуючым выпраменьваннем. Гэта выпраменьванне і перанос энергіі і ёсць *радыяцыя*.

Навуковыя даследаванні паказалі, што радыеактыўнае выпраменьванне з'яўляецца складаным працэсам. Так, калі крупінкі розных радыеактыўных рэчываў знаходзяцца ў свінцовай скрынцы з адтулінай уверсе, а сама скрынка размяшчаецца паміж полюсамі магніта, то праз адтуліну будуць выходзіць тры пучкі прамянёў. Два з іх адхіляюцца ў процілеглыя бакі, а трэці рухаецца без адхіленняў (рыс. 4).

Два пучкі прамянёў з'яўляюцца пучкамі процілегла зараджаных часцінак. Дадатна зараджаныя часцінкі, якія адхіляюцца ў бок паўночнага магнітнага полюса, называюцца α-часцінкамі; адмоўна зараджаныя часцінкі, якія адхіляюцца ў бок паўднёвага магнітнага полюса, — β-часцінкамі. Выпраменьванне, якое не адхіляецца ў магнітным полі, называецца γ-выпраменьваннем. Часцінкі гэтага выпраменьвання (γ-кванты) не маюць электрычнага зараду.

Радыеактыўныя рэчывы ў асноўным выпраменьваюць толькі адзін від зараджаных часцінак: α або β. Выпраменьванне гэтых часцінак часта суправаджаецца выпраменьваннем γ-квантаў. Выпраменьван-



Рыс. 4. Магнітнае адхіленне радыеактыўных прамянёў

не, якое адначасова ўтрымлівае α-, β- і γ-кампаненты, уласціваe толькі злучэнням, якія складаюцца з некалькіх радыеактыўных рэчываў, і не характэрнае для чыстых элементаў.

Эфектыўнасць радыяцыйнай бяспекі ад уздзеяння іанізуючых выпраменьванняў у значнай ступені залежыць ад ведання яго відаў і ўласцівасцей. Існуюць два віды выпраменьванняў: хвалевыя (квантавыя) і карпускулярныя.

Да хвалевых належаць электрамагнітныя выпраменьванні з рознай (пераважна кароткай) даўжынёй хвалі — рэнтгенаўскае і γ-выпраменьванне. Рэнтгенаўскае выпраменьванне, прыроднай крыніцай якога з'яўляецца Сонца, рэгіструецца касмічнымі апаратамі са спадарожнікаў. Такое выпраменьванне паглынаецца зямной атмасферай. Калі б гэтага не адбывалася, яно б згубна дзейнічала на ўсё жывое на Зямлі. Рэнтгенаўскае выпраменьванне ўтвараецца і спецыяльнымі апаратамі (паскаральнікамі) з мэтай выкарыстання ў медыцыне і ў іншых галінах гаспадаркі. Штучнай крыніцай для медыцынскага прызначэння звычайна з'яўляецца рэнтгенаўская трубка.

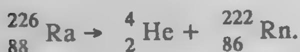
Другі від выпраменьвання — карпускулярны, або выпраменьванне α- і β-часцінак (электроны, пазітроны), пратонаў, нейтронаў.

Віды выпраменьвання адрозніваюцца ў прыватнасці па пранікальнай і іанізуючай здольнасцях. Пранікальная здольнасць гэтых выпраменьванняў выяўляецца ў іх пранікненні ў масу рэчыва на нейкую глыбіню. Іанізуючая здольнасць выпраменьвання абумоўлена іанізацыяй атамаў і малекул у выніку ўзаемадзеяння часцінак з асяроддзем. Такі працэс называецца іанізуючым выпраменьваннем.

АСНОЎНЫЯ ХАРАКТАРЫСТЫКІ ВЫПРАМЕНЬВАННЯЎ І ІХ ЎЗАЕМАДЗЕЯННЕ З РЭЧЫВАМ

α-Выпраменьванне ўтвараецца пры самаадвольнай ядзернай рэакцыі. У выніку гэтай рэакцыі ад атамнага ядра адшчэпліваецца часцінка ядзернага рэчыва, якая складаецца з двух пратонаў і двух нейтронаў — ядра гелію. Гэта адбываецца наступным чынам: унутры атамнага ядра з масавым лікам, напрыклад, больш за 92 два пратоны і два нейтроны за вельмі нязначны час узаемадзеяння (прыблізна 10^{-21} с) аб'ядноўваюцца і ствараюць α-часцінку. Калі энергіі α-часцінкі ўнутры ядра хапае, каб пераадолець ядзерныя сілы, то яна вылятае з ядра. Адбываецца α-распад, і атрыманы такім чынам пучок α-часцінак называецца α-выпраменьваннем.

Пры α-распадзе зыходнае (матчына) ядро радыенуклідаў ператвараецца ў даччынае ядро новых элементаў, атамны нумар якіх меншы, чым у зыходных элементаў, на дзве, а масавы лік на чатыры адзінкі. α-Часцінкі належаць да ліку цяжкіх, гэта значыць іх крыніцай з'яўляюцца ядры радыеактыўных элементаў, якія размяшчаюцца ў канцы Перыядычнай сістэмы Мендзялеева. Прыкладам утварэння α-часцінак можа быць радыеактыўны распад радыю $^{226}_{88}Ra$, пры якім узнікае ізатоп радону $^{222}_{86}Rn$:



$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{222}_{86}Rn.$$

Хуткасць, з якой α-часцінкі вылятаюць з ядзер радыенуклідаў, дасягае 10 000 — 25 000 км/с, а даўжыня прабегу складае прыблізна 3 — 7 см у паветры і не больш 0,05 мм у біялагічных тканках. Здольнасць α-часцінак да пранікнення ў рэчыва вельмі нязначная, і для аховы ад іх хапае аркуша паперы таўшчынёй каля 0,1 мм. Таму яны поўнасцю паглынаюцца звычайным адзеннем. Але пры рабоце з радыеактыўнымі рэчывамі, якія з'яўляюцца крыніцамі α-часцінак, на рукі неабходна надзяваць гумавыя пальчаткі, бо, трапіўшы на паверхню скуры, α-часцінкі могуць змяніць яе структуру і выклікаць апёк.

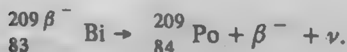
α-Часцінкі, якія вылятаюць з ядзер, трапляюць у рэчыва (асяроддзе) і ўзаемадзейнічаюць з ім. Пры гэтым энергія α-часцінкі ў асноўным ідзе на іанізацыю атамаў дадзенага асяроддзя. Адбываецца гэта так. α-Часцінкі сутыкаюцца з атамамі рэчыва. Пры гэтым атамы ўзбуджаюцца, гэта значыць электроны атама пераходзяць з

больш блізкай да ядра абалонкі на больш далёкую, а некаторыя з іх нават адшчэпліваюцца ад атама. У апошнім выпадку атам ператвараецца ў дадатна зараджаны іон. Адарваны ж ад атама электрон можа далучыцца да вонкавай абалонкі іншага атама, які ў сваю чаргу ператвараецца ў адмоўны іон.

Для характарыстыкі іанізуючай здольнасці α-часцінак і іншых выпраменьванняў уводзіцца паняцце ўдзельнай іанізацыі. Удзельная іанізацыя — гэта колькасць пар іонаў, якія ўзнікаюць на 1 см шляху прабегу α-часцінкі. Даўжынёй прабегу называецца адлегласць, якую часцінка праходзіць ад месца ўтварэння да месца страты яе энергіі.

α-Часцінкі маюць вялікую іанізуючую здольнасць: на шляху прабегу ў паветры ўтвараецца ад 100 000 да 300 000 пар іонаў. Іанізуючую здольнасць часцінак падлічваюць наступным чынам. Энергія α-часцінак радыенуклідаў складае 3 — 9 МэВ. На ўтварэнне адной пары іонаў патрабуецца каля 30 эВ. Такім чынам, α-часцінка з энергіяй 6 МэВ на сваім шляху ў паветры здольна ўтварыць прыблізна 200 000 пар іонаў, а з энергіяй 9 МэВ — 300 000. Таму калі радыеактыўнае рэчыва, якое выпраменьвае α-часцінкі, трапіць у арганізм (напрыклад, пры ўдыханні паветра, праз адкрытую рану або з ежай), магчымасць пашкоджання арганізма на гэтым шляху вельмі вялікая.

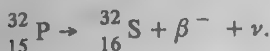
β-Выпраменьванне з'яўляецца патокам электронаў або пазітронаў*. У першым выпадку кажуць аб электронным β^- (бэта-мінус), у другім — аб пазітронным β^+ (бэта-плюс) распадзе. Пры β-распадзе з ядра вылятае электрон або пазітрон. Мы ведаем, што электроны і пазітроны не ўваходзяць у склад ядра. Менавіта таму яны ствараюцца ў ядры ў момант яго распаду. Так, пры электронным β-распадзе адзін з ядзерных нейтронаў ператвараецца ў пратон, электрон і нейтральную часцінку (нейтрына). Пратон застаецца ў ядры, а электрон і нейтрына вылятаюць з яго. Пры гэтым агульная колькасць нуклонных часцінак (масавы лік) у новым ядры застаецца такой жа, як і ў зыходным, колькасць жа пратонаў, а значыць, і атамны нумар, павялічваецца на адзінку. Напрыклад, пры электронным распадзе вісмуту ўтвараецца новы ізатоп паланій з атамным нумарам 84 і тым жа масавым лікам 209:



$$^{209\beta^-}_{83}\mathrm{Bi} \rightarrow {}^{209}_{84}\mathrm{Po} + \beta^- + \nu.$$

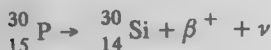
* Пазітрон — часцінка, вельмі падобная да электрона. Яе дадатны электрычны зарад роўны абсалютнай велічыні зараду электрона.

Выпраменьваючы β^--часцінку ізатоп фосфару $^{32}_{15}P$ ператвараецца ў стабільны ізатоп серы $^{32}_{16}S$:



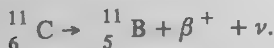
$$^{32}_{15}P \rightarrow {}^{32}_{16}S + \beta^- + \nu.$$

Пры пазітронным распадзе адзін з ядзерных пратонаў ператвараецца ў нейтрон, пазітрон і часцінку нейтрына. Нейтрон застаецца ў ядры, а пазітрон і нейтрына вылятаюць з ядра. Таму пры β^+-распадзе зарадавы лік ядра змяншаецца на адзінку. Новы элемент будзе мець атамны нумар, які на адзінку менш нумара зыходнага ядра, і такі ж масавы лік. Прыкладам такога распаду з'яўляецца ператварэнне ізатопа фосфару $^{30}_{15}P$ у ізатоп крэмнію $^{30}_{14}Si$:



$$^{30}_{15}P \rightarrow {}^{30}_{14}Si + \beta^+ + \nu$$

і ізатопа вугляроду $^{11}_{6}C$ у ізатоп бору $^{11}_{5}B$:



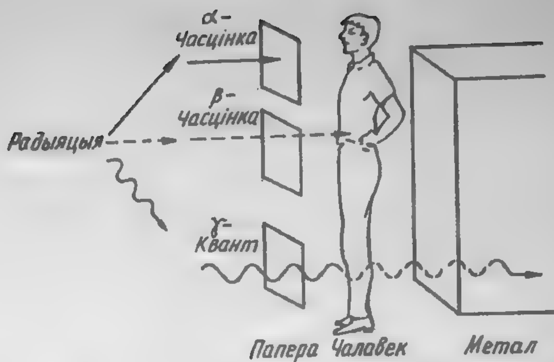
$$^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + \beta^+ + \nu.$$

Даўжыня прабегу β-часцінак у паветры дасягае 1 м і нават болей; яны пранікаюць у тканкі арганізма на глыбіню 0,3 — 0,5 см. Зімовае адзенне поўнасцю ахоўвае цела ад вонкавага β-выпраменьвання.

Існуе даволі вялікая небяспека з боку вонкавых патокаў β-часцінак для вачэй чалавека. У параўнанні са скурай хрусталік валодае павялічанай радыеадчувальнасцю. Пры рабоце з крыніцамі β-выпраменьвання рэкамендуецца прымяняць ахоўныя акуляры з таўшчынёй шкла 6 мм. Для аховы скуры рук трэба выкарыстоўваць ахоўныя пальчаткі і дыстанцыйны інструмент.

Здольнасць β-часцінак да іанізацыі рэчыва значна меншая, чым адпаведная здольнасць α-часцінак: на сваім шляху прабегу β-часцінкі ствараюць ад 1000 да 50 000 пар іонаў. β-Часцінкі належаць да ліку лёгкіх ядзерных часцінак, маса іх прыблізна ў 7000 разоў меншая за масу α-часцінак.

γ-В ы п р а м е н ь в а н н е з'яўляецца патокам электрамагнітных хваль (квантаў), якія выпраменьваюцца ў працэсах радыеактыўнага распаду пры змяненні энергетычнага стану атамных ядзер. Энергія γ-выпраменьвання змяняецца ў межах ад дзесяткаў тысяч да мільёнаў электрон-вольтаў (напрыклад, энергія γ-квантаў кобаль-



Рыс. 5. Тры віды выпраменьванняў і іх пранікальная здольнасць

ту-60 састаўляе 1 330 000 эВ і 1 170 000 эВ, карыстаюцца сярэдняй — 1 250 000 эВ).

γ-Выпраменьванне распаўсюджваецца з хуткасцю святла ў вакууме (300 000 км/с). Здольнасць яго да пранікнення ў рэчыва надзвычай вялікая. Шлях прабегу ў паветры перавышае 100 м. Такое выпраменьванне можа праходзіць скрозь цела чалавека.

γ-Выпраменьванне непасрэдна не ўдзельнічае ў працэсе іанізацыі рэчыва, але пры ўзаемадзеянні з атамамі рэчыва яно перадае энергію электронам, якія затым ужо выклікаюць іанізацыю часцінак паветра.

Як сродак аховы ад γ-выпраменьвання эфектыўна выкарыстоўваюцца бетонныя сцены таўшчынёй 1,5 — 2,0 м або перашкоды з матэрыялаў са значным паглынаннем (свінец). Для двухразовага аслаблення γ-выпраменьвання з энергіяй 0,1 МэВ і 2 МэВ патрэбны слой свінцу таўшчынёй адпаведна 0,12 мм і 1,4 мм.

Пры **нейтронным выпраменьванні** некаторыя нейтроны вылятаюць з ядзер падчас ядзерных рэакцый, напрыклад пры падзелах ядзер урану або плутонію. Нейтроны маюць вялікую здольнасць да пранікнення ў рэчыва. Даўжыня іх прабегу ў паветры можа дасягаць некалькіх тысяч метраў. Яны глыбока пранікаюць у цела чалавека. Электранейтральныя нейтроны пры праходжанні праз рэчыва ўзаемадзейнічаюць не з зараджанымі электронамі, а з ядрамі атамаў рэчыва, перадаючы ім энергію. Такім чынам ствараюцца зараджаныя часцінкі, якія і ажыццяўляюць іанізацыю асяроддзя.

Характэрнай асаблівасцю нейтроннага выпраменьвання з'яўляецца яго здольнасць ператвараць атамы ўстойлівых элементаў у іх

радыеактыўныя ізатопы, што рэзка павялічвае небяспеку нейтроннага апраменьвання.

З мэтай аховы ад нейтроннага выпраменьвання ўжываюцца масіўныя жалезабетонныя сцены, а таксама адмысловыя экраны з кадмію або бору. Параўнанне пранікальных здольнасцей α-, β-часцінак і γ-квантаў паказана на рыс. 5.

АДЗІНКІ АКТЫЎНАСЦІ РАДЫЕНУКЛІДАЎ

Як ужо адзначалася, трэба адрозніваць α- і β-распад. Кожнае радыеактыўнае рэчыва распадаецца з пэўнай інтэнсіўнасцю. Для колькаснай характарыстыкі працэсаў распаду ўводзіцца паняцце актыўнасці. Пад актыўнасцю радыенуклідаў разумеюць колькасць іх ядзер, якія распадаюцца за адзінку часу. Адзінкай актыўнасці радыенуклідаў у Міжнароднай сістэме адзінак з'яўляецца бекерэль (Бк) (названы ў гонар першаадкрывальніка гэтай з'явы Бекерэля). 1 Бк — гэта такая актыўнасць радыеактыўнага рэчыва, пры якой за 1 с адбываецца адно самаадвольнае ядзернае ператварэнне. 1 Бк = 1 расп./с. Калі, напрыклад, радыеактыўнасць крыніцы складае 500 Бк, то гэта азначае, што яна ўтрымлівае радыенукліды, 500 з якіх распадаюцца кожную секунду.

Велічыні ў тысячу і мільён бекерэль абазначаюцца адпаведна як кілабекерэль (кБк) і мегабекерэль (МБк):

$$1 \text{ кБк} = 10^3 \text{ Бк}; \ 1 \text{ МБк} = 10^6 \text{ Бк}.$$

Аднак шырока выкарыстоўваецца і старая адзінка радыеактыўнасці — кюры (Кы), якая названа ў гонар П. Кюры і М. Складоўскай-Кюры, даследчыкаў, што ўпершыню вылучылі чысты радый. Значэнню 1 Кы прыблізна адпавядае радыеактыўнасць 1 г чыстага радыю, у якім за 1 с распадаецца 37 млрд ($3{,}7 \cdot 10^{10}$) ядзер. Кюры — адносна буйная адзінка радыеактыўнасці, таму часцей выкарыстоўваюць яе тысячныя — мілікюры (мКы), мільённыя — мікракюры (мкКы) і мільярдныя — нанакюры (нКы) часткі:

$$1 \text{ мКы} = 10^{-3} \text{ Кы}; \ 1 \text{ мкКы} = 10^{-6} \text{ Кы};$$

$$1 \text{ нКы} = 10^{-9} \text{ Кы}.$$

Выкарыстоўваюцца і больш буйныя, чым кюры, адзінкі актыўнасці — кілакюры (кКы) і мегакюры (МКы):

$$1 \text{ кКы} = 10^3 \text{ Кы}; \ 1 \text{ МКы} = 10^6 \text{ Кы}.$$

2 Зак. 5304

Паміж кюры і бекерэлем існуюць наступныя суадносіны:

1 Кы = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ расп./с = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк = 37 ГБк (гігабекерэль);

1 Бк = 1 расп./с = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Кы;

1 мКы = $3{,}7 \cdot 10^{7}$ Бк = 37 МБк;

1 мкКы = $3{,}7 \cdot 10^{4}$ Бк = 37 кБк;

1 пКы = $3{,}7 \cdot 10^{-2}$ Бк = 37 мБк;

1 кКы = $3{,}7 \cdot 10^{13}$ Бк = 37 ТБк (тэрабекерэль);

1 МКы = $3{,}7 \cdot 10^{16}$ Бк = 37 ПБк (петабекерэль).

Вызначэнне радыеактыўнасці ізатопа яшчэ нічога не гаворыць аб дозе і відзе радыеактыўнага выпраменьвання, яно толькі ўказвае на колькасць ядзер, якія распадаюцца за 1 с. Больш таго, аднольkавая актыўнасць розных радыенуклідаў не выклікае аднолькавага пашкоджання тканак арганізма.

Для выканання правіл бяспекі часта неабходна вызначыць не толькі актыўнасць радыеактыўнага рэчыва, але і яго канцэнтрацыю (аб'ёмную актыўнасць) у вадзе або атмасферным паветры, а таксама заражанасць паверхні зямлі. Напрыклад, дапушчальную канцэнтрацыю радыенуклідаў у вадзе зручна вызначаць у бекерэлях на літр (Бк/л), у паветры — у бекерэлях на кубічны метр (Бк/м^3), а на мясцовасці — у бекерэлях на квадратны метр (Бк/м^2).

Адносіны актыўнасці радыеактыўнага рэчыва да масы, аб'ёму, плошчы паверхні і даўжыні крыніцы радыеактыўнасці называюцца адпаведна ўдзельнай, аб'ёмнай, паверхневай і лінейнай актыўнасцю крыніцы.

Маса рэчыва не з'яўляецца крытэрыем яго радыеактыўнасці. Рэчыва з меншай масай можа быць значна больш радыеактыўным, чым рэчыва з большай масай. Чым павольней адбываецца распад радыеактыўнага рэчыва, тым больш яго маса з пэўным значэннем актыўнасці. Так, аднолькавую актыўнасць у 1 Кы маюць 3 т урану-238 (перыяд паўраспаду T = 4,5 млрд гадоў) і 0,08 мг ёду-131 (T = 8,06 сутак).

Цяпер надрукаваны карты радыяцыйнага стану на тэрыторыі Беларусі. Зоны забруджвання на іх адзначаны ў кюры на 1 км^2 (табл. 1).

З цягам часу колькасць радыеактыўных атамаў, а таксама і іх актыўнасць змяншаюцца. Хуткасць змяншэння актыўнасці апісваюць п е р ы я д а м п а ў р а с п а д у $T_{1/2}$ — час, за які

пачатковая колькасць атамаў радыеактыўнага рэчыва змяншаецца ў 2 разы.

Кожны радыенуклід мае нязменны, толькі яму ўласцівы перыяд паўраспаду: ад мільённых частак секунды да мільярдаў гадоў. Напрыклад, фосфар-49 мае перыяд паўраспаду 4,5 с, ёд-131 — 8 дзён, цэзій-137 — 30 гадоў, уран-238 — 4,5 мільярдаў гадоў і г. д.

Табл. 1. **Узровень радыеактыўнага забруджвання мясцовасці ў розных адзінках вымярэння**

Забруджанасць мясцовасці радыенуклідамі		Канцэнтрацыя ядзер цэзію-137, якая адпавядае гэтай актыўнасці ў мільярдах на 1 $м^2$ ($мкг/м^2$)
$Кы/км^2$	$кБк/м^2$	
1	37	50 000 (0,0114)
3	111	152 000 (0,0345)
5	185	253 000 (0,0575)
15	555	760 000 (0,173)
40	1480	2 000 000 (0,455)
146,5*	5420	7 420 000 (1,687)

* Забруджанасць в. Чудзяны (Магілёўская вобласць) цэзіем-137.

Чым меншы перыяд паўраспаду радыеактыўнага ізатопа, тым большая яго радыеактыўнасць, г. зн. тым больш атамных ядзер будзе распадацца за адзінку часу.

Калі мы будзем паслядоўна разглядаць перыяды паўраспаду (T = = 1, 2, 3, 4, 5 і г. д.), то заўважым, што пры гэтым актыўнасць рэчыва ад сваёй пачатковай велічыні змяншаецца адпаведна на 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 і г. д. Напрыклад, пачатковая колькасць радыеактыўнага ёду-131 складае мільён атамаў. Праз 8 дзён застаецца 500 000 атамаў, праз 16 дзён — 250 000, пасля трэцяга перыяду паўраспаду — 125 000, чацвёртага — 62 500, пятага — 31 250 і г. д., пакуль не знікне ўвесь ёд-131. З красавіка 1986 г. прайшло больш за 315 перыядаў паўраспаду ёду-131, і таму чарнобыльскі ёд ужо практычна знік.

Суадносіны часу і колькасці тых радыеактыўных атамаў, што да гэтага часу яшчэ не паспелі распасціся, вызначае з а к о н р а д ы е а к т ы ў н а г а р а с п а д у. Ён дзейнічае для адвольных радыенуклідаў незалежна ад віду радыеактыўнага ператварэння.

Для колькаснай характарыстыкі ўтрымання радыенуклідаў стронцыю-90 і цэзію-137 у розных біялагічных аб'ектах часта ўжываюцца

адзінкі стронцыеўская (с. а.) і цэзіеўская (ц. а.). Стронцый з'яўляецца хімічным аналагам кальцыю, а цэзій — калію. Таму пры ацэнках і разліках зручна карыстацца велічынямі, у якія ўваходзяць суадносіны стронцыю і кальцыю, цэзію і калію.

Адна стронцыеўская адзінка адпавядае канцэнтрацыі актыўнасці 1 пКы або 37 мБк стронцыю-90 на 1 г кальцыю.

Адна цэзіеўская адзінка адпавядае канцэнтрацыі 1 пКы або 37 мБк цэзію-137 на 1 г калію.

Адрозніваюць прыродную і штучную радыеактыўнасць. П р ы р о д н а я   р а д ы е а к т ы ў н а с ц ь — гэта радыеактыўнасць прыродных рэчываў (урану, торыю, радыю, палонію і інш.). Ядры ўсіх элементаў з парадкавым нумарам больш за 92 — радыеактыўныя. Яны ў нязначнай колькасці ўтрымліваюцца ў глебе, сценах жылля, у ежы, а таксама ўваходзяць у склад жывых арганізмаў, у тым ліку і чалавека. Розныя віды выпраменьвання паступаюць на паверхню Зямлі з космасу. Для атрымання штучных радыеактыўных рэчываў патрэбна вонкавае ўздзеянне на ядры.

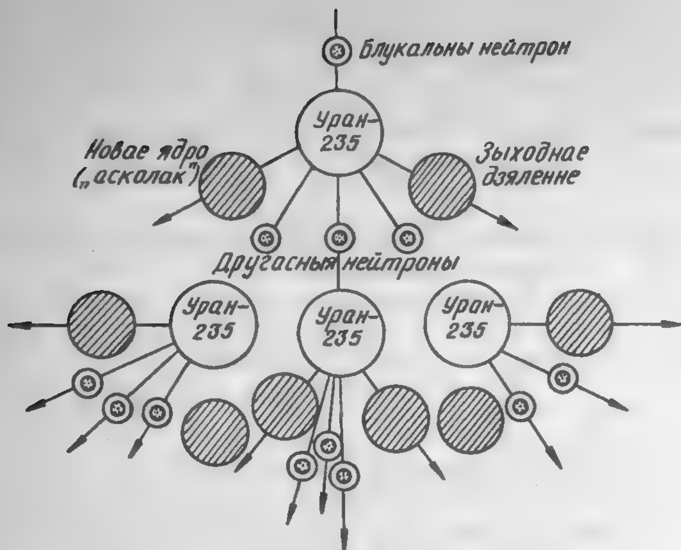
ЯДЗЕРНЫЯ РЭАКЦЫІ І ШТУЧНАЯ РАДЫЕАКТЫЎНАСЦЬ

Ядзернымі рэакцыямі называюцца змяненні атамных ядзер пры іх узаемадзеянні з элементарнымі часцінкамі або паміж сабой.

Вывучэнню ядзерных рэакцый у значнай ступені садзейнічала вынаходства апаратаў для перадачы вялікай энергіі зараджаным часцінкам — так званых паскаральнікаў. Яны ствараюць інтэнсіўныя пучкі зараджаных часцінак, якія паскараюцца да энергіі не толькі роўнай, але і ў шмат разоў большай, чым энергія часцінак у прыродных радыеактыўных выпраменьваннях.

Сучасныя паскаральнікі разганяюць ядзерныя часцінкі (пратоны, α-часцінкі) да велізарных хуткасцей (энергій). Гэта дазваляе ажыццяўляць разнастайныя ядзерныя рэакцыі, якія адбываюцца як з вылучэннем, так і з паглынаннем энергіі.

Канцэнтрацыя энергіі, якая выпраменьваецца пры кожнай ядзернай рэакцыі, у шмат разоў перавышае канцэнтрацыю энергіі пры працэсах гарэння. Напрыклад, пры пранікненні α-часцінкі ў ядро алюмінію адбываецца ядзерная рэакцыя, пры ёй утвараецца ядро крэмнію і вылучаецца энергія, якая па канцэнтрацыі прыблізна ў 700 000 разоў перавышае тую энергію, што назіраецца пры гарэнні. Аб велічыні энергіі, якая вылучаецца пры ядзерных рэакцыях, сведчыць наступны прыклад: утварэнне 4 г гелію суправаджаецца вылучэннем такой жа колькасці энергіі, як і пры згаранні 1,5 — 2 вагонаў каменнага вугалю.



Рыс. 6. Падзел ядзер урану пад уздзеяннем нейтронаў

Аднак у адрозненне ад таго, што назіраецца пры гарэнні, энергія, якая вылучаецца пры ядзернай рэакцыі, не можа падтрымліваць развіццё апошняй. Каб стварыць новае ядро крэмнію і вылучыць пэўную колькасць энергіі, патрэбна новая α-часцінка, здольная да пранікнення ў іншае ядро алюмінію.

У сувязі з тым, што памеры ядра прыблізна ў 100 000 разоў меншыя за памеры атама, імавернасць сутыкнення элементарнай часцінкі з ядром вельмі малая. Пры такіх умовах не ўзнікае так званай ланцуговай ядзернай рэакцыі, якая б падтрымлівала сама сябе.

Пры доследах па апраменьванні урану нейтронамі было выяўлена, што пад уздзеяннем нейтронаў ядро урану падзяляецца на дзве прыблізна роўныя часткі («асколкі»). Гэты працэс суправаджаецца выпраменьваннем яшчэ двух-трох нейтронаў, здольных выклікаць падзел суседніх ядзер урану, якія таксама выпраменьваюць нейтроны, і г. д. Такім чынам, узнікае ланцуговая рэакцыя падзелу ядзер: аднойчы пачаўшыся, рэакцыя ідзе сама па сабе, таму што да яе далучаюцца ўсё новыя і новыя ядры (рыс. 6).

Ланцуговая ядзерная рэакцыя суправаджаецца вылучэннем велізарнай колькасці энергіі, пры падзеле кожнага ядра прыблізна 200 МэВ, пры поўным падзеле ўсіх ядзер 1 г урану — энергія,

эквівалентная той, што атрымліваецца пры згаранні 3 т вугалю або 2,5 т нафты.

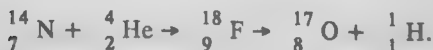
Аднак для ажыццяўлення ланцуговай рэакцыі мы не можам выкарыстоўваць адвольныя атамныя ядры, якія падзяляюцца пад уздзеяннем нейтронаў. З тых ядзер, якія сустракаюцца ў прыродзе, для гэтае мэты прыдатны толькі ядры ізатопа урану з масавым лікам 235 ($^{235}_{92}U$).

Адкрыццё ядзерных рэакцый упершыню даказала магчымасць штучнага ператварэння элементаў.

Распад ядзер штучна атрыманых ізатопаў называецца ш т у ч н а й р а д ы е а к т ы ў н а с ц ю. Усе штучныя ядзерныя рэакцыі адбываюцца пры сутыкненні ядра-мішэні з элементарнай часцінкай. Апошнюю можна параўнаць са снарадам, які бамбардзіруе ядро-мішэнь. У якасці «снарадаў» ужываюцца α-часцінкі, пратоны, нейтроны.

Штучныя ядзерныя рэакцыі звычайна адбываюцца ў два этапы. Першы этап — α-часцінка пры пранікненні ў ядро перадае энергію ўсім ядзерным пратонам і нейтронам. Ствараецца прамежкавае, так званае складанае ядро. Другі этап — унутры прамежкавага ядра адбываецца пераразмеркаванне пратонаў і нейтронаў, «залішнія» часцінкі вылятаюць з прамежкавага ядра. Так ствараецца новае ядро, у якім колькасць пратонаў і нейтронаў адрозніваецца ад адпаведных велічынь зыходнага ядра. Час існавання прамежкавага ядра вельмі кароткі і складае прыблізна мільярдныя часткі секунды.

Першым ядром, якое прайшло праз штучны распад, было ядро азоту ($^{14}_{7}N$). Пры сутыкненні з α-часцінкай яно захоплівае α-часцінку і ўтвараецца прамежкавае ядро ізатопа фтору ($^{18}_{9}F$). Гэта першы этап дадзенай ядзернай рэакцыі. Але ядро фтору няўстойлівае і самаадвольна распадаецца. Пры гэтым з яго вылятае пратон (ядро вадароду)*. Так узнікае ўстойлівае ядро ізатопа кіслароду ($^{17}_{8}O$). Гэта другі этап рэакцыі:



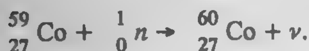
$$^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{18}_{9}F \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H.$$

Пры ядзерных рэакцыях магчыма ўтварэнне як стабільных, так і нестабільных (са штучнай радыеактыўнасцю) ізатопаў элементаў.

---

* Ядро атама вадароду інакш называюць пратонам. Пратон, іон атама вадароду H^+, ядро атама вадароду $^{1}_{1}H$— усё гэта назвы адной і той жа часцінкі: атама вадароду без яго адзінага электрона.

Апошнія атрымліваюцца пры бамбардзіроўцы ядзер устойлівых ізатопаў α-часцінкамі, пратонамі і нейтронамі. Напрыклад, пры бамбардзіроўцы ядзер кобальту ($^{59}_{27}Co$) нейтронамі ўтвараецца ізатоп $^{60}_{27}Co$ са штучнай радыеактыўнасцю. Пры выпраменьванні β-часцінак ён ператвараецца ў стабільны ізатоп нікелю ($^{60}_{28}Ni$). Падчас распаду ядра $^{60}_{27}Co$ выпраменьваюцца таксама два γ-кванты з рознай энергіяй:



$$^{59}_{27}Co + \, ^{1}_{0}n \rightarrow \, ^{60}_{27}Co + \nu.$$

Штучную радыеактыўнасць адкрылі ў 1934 г. французскія фізікі—супругі Жоліо-Кюры. Цяпер мы ведаем звыш 1000 штучных радыеактыўных ізатопаў, многія з якіх шырока ўжываюцца практычна ва ўсіх галінах навукі, тэхнікі, медыцыны, сельскай гаспадаркі і г. д.

Глава 2. АСНОЎНЫЯ ДАЗІМЕТРЫЧНЫЯ ВЕЛІЧЫНІ І АДЗІНКІ ІХ ВЫМЯРЭННЯ

ІНДЫВІДУАЛЬНЫЯ І КАЛЕКТЫЎНЫЯ ДОЗЫ ІАНІЗУЮЧАГА ВЫПРАМЕНЬВАННЯ

Каб улічваць уплыў іанізуючых выпраменьванняў на біялагічныя аб'екты (чалавека, жывёлу, расліны), неабходна ведаць асноўныя адзінкі іх вымярэння. Віды іанізуючых выпраменьванняў адрозніваюцца вызваленнем рознай колькасці энергіі.

Асноўнай адзінкай вымярэння плыні энергіі рэнтгенаўскага і ядзерных выпраменьванняў з'яўляецца адзінка СІ — д ж о ў л ь у с е к у н д у (Дж/с) або в а т (Вт). Ват роўны плыні энергіі іанізуючага выпраменьвання, пры якой праз дадзеную паверхню за 1 с праходзіць выпраменьванне з энергіяй 1 Дж. Выкарыстоўваецца і адзінка энергіі — э л е к т р о н-в о л ь т (эВ). 1 эВ адпавядае энергіі, якую набывае электрон пры руху ў электрычным полі паміж пунктамі з напружаннем 1 В.

$$1 \text{ эВ} = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

1 Дж $= 0{,}2388$ кал $= 6{,}25 \cdot 10^{18}$ эВ.

Велічыні ў тысячу, мільён і мільярд электрон-вольтаў абазначаюцца адпаведна як кілаэлектрон-вольт (кэВ), мегаэлектрон-вольт (МэВ) і гігаэлектрон-вольт (ГэВ):

1 кэВ $= 10^3$ эВ; 1 МэВ $= 10^6$ эВ;

1 ГэВ $= 10^9$ эВ.

Даследчыкі вымяралі энергію, якая вылучаецца пры падзеле ядзер урану, і атрымалі, што кожны акт падзелу суправаджаецца вызваленнем прыблізна 200 МэВ. Пры згаранні 1 кг чыстага вугалю можна атрымаць каля 8 ккал цяпла, пры падзеле ўсіх ядзер, якія ўтрымліваюцца ў 1 кг урану, — больш за 200 млрд ккал, гэта значыць у мільёны разоў больш. Велізарнае энергавылучэнне — адна з перадумоў, якая дазволіла чалавецтву стварыць ядзерныя рэактары і выкарыстаць іх для вытворчасці электраэнергіі на АЭС.

Розныя віды выпраменьванняў валодаюць рознай пранікальнай здольнасцю, таму яны па-рознаму ўздзейнічаюць на тканкі чалавека. Арганізм чалавека паглынае энергію іанізуючых выпраменьванняў. Чым больш энергіі радыеактыўныя выпраменьванні перадаюць тканкам і органам, тым большыя пашкоджанні жывога арганізма. Колькасць энергіі выпраменьвання паглынутай адзінкай масы апрамененага рэчыва называецца паглынутай дозай. Інакш кажучы, уздзеянне выпраменьванняў на жывы арганізм характарызуецца паглынутай дозай.

Адной з важных умоў радыяцыйнай бяспекі з'яўляецца вызначэнне колькаснай сувязі паміж узроўнем уздзеяння і тымі эфектамі ў асяроддзі, якія абумоўлены іанізуючым выпраменьваннем.

У дзяржавах СНД выкарыстоўваюцца як новыя, так і старыя адзінкі вымярэння выпраменьвання. Разгледзім і тыя і другія, а таксама суадносіны паміж імі.

Выдзяляюць наступныя дозы выпраменьвання — экспазіцыйную, паглынутую, эквівалентную, эфектыўную, калектыўную эфектыўную (калектыўная доза), чаканую (поўную) калектыўную эфектыўную (чаканая (поўная) доза).

ЭКСПАЗІЦЫЙНАЯ ДОЗА

Гамма- або рэнтгенаўскае выпраменьванне ўтварае ў паветры пэўную колькасць іонаў. Менавіта для іх і вызначаецца экспазіцыйная доза, якая з'яўляецца колькаснай характарыстыкай поля

іанізуючага выпраменьвання. Яна залежыць ад велічыні іанізацыі сухога паветра пры атмасферным ціску 760 мм рт. сл.

Такім чынам, экспазіцыйная доза — гэта велічыня адносін сумарнага зараду ўсіх іонаў аднаго знака, якія ўтвараюцца рэнтгенаўскім ці γ-выпраменьваннем у некаторым аб'ёме, да масы паветра ў гэтым аб'ёме.

Дозу апраменьвання, абумоўленую ўздзеяннем рэнтгенаўскага або γ-выпраменьвання, выкарыстоўваюць для ацэнкі радыяцыйнай сітуацыі на мясцовасці, у працоўных або жылых памяшканнях. Адзінкай экспазіцыйнай дозы з'яўляецца 1 кулон на 1 кг апраменёнага паветра (1 Кл/кг). Кулон на кілаграм роўны экспазіцыйнай дозе, пры якой выпраменьванне стварае ў сухім атмасферным паветры масай 1 кг іоны з сумарным зарадам кожнага знака, адпаведным 1 Кл.

Старой адзінкай экспазіцыйнай дозы з'яўляецца рэнтген (Р). Рэнтген — такая доза апраменьвання рэнтгенаўскім або γ-выпраменьваннем, пры якой сумарны зарад, што ўзнікае ў 0,001293 г* паветра, утварае прыблізна 2 млрд ($2{,}08 \cdot 10^9$) пар іонаў.

$$1\ \text{Р} = 2 \cdot 10^9\ \text{пар іонаў/см}^3\ \text{паветра}.$$

Выкарыстоўваюцца і больш дробныя адзінкі: мікрарэнтген (мкР) — мільённая і мілірэнтген (мР) — тысячная часткі рэнтгену.

$$1\ \text{мкР} = 10^{-6}\ \text{Р};\ 1\ \text{мР} = 10^{-3}\ \text{Р}.$$

Суадносіны паміж старой і новай адзінкамі экспазіцыйнай дозы можна запісаць так:

$$1\ \text{Р} = 2{,}58 \cdot 10^{-4}\ \text{Кл/кг} = 3{,}876 \cdot 10^3\ \text{Р} = 3876\ \text{Р}.$$

Такім чынам, новая адзінка значна буйнейшая, чым старая.

Пры вызначэнні дзеяння радыяцыі на якое-небудзь асяроддзе (асабліва пры апраменьванні жывога арганізма) трэба ўлічваць не толькі агульную дозу, але і час, за які яна была атрымана. Таму ўводзіцца паняцце «магутнасць дозы».

Магутнасцю экспазіцыйнай дозы называецца доза, якая прыпадае на адзінку пэўнага часу. Яе можна вымяраць наступным чынам: рэнтген у гадзіну (Р/гадз), рэнтген у хвіліну (Р/хв), рэнтген у секунду (Р/с).

Пераход ад пазасістэмнай адзінкі «рэнтген» да адзінкі «кулон на кілаграм» вельмі ўскладняе працэс перабудовы шкал прыбораў

---

* 0,001293 г паветра — гэта маса 1 см^3 атмасфернага сухога паветра пры тэмпературы 0 °С і атмасферным ціску 760 мм рт. сл.

радыяцыйнага кантролю, якія ў сучасны момант адградуяваны ў большасці выпадкаў у рэнтгенах.

Нязручны таксама пераход ад экспазіцыйнай дозы ў адзінках CI да асноўнай дазіметрычнай велічыні — паглынутай дозы.

У час пераходнага перыяду да адзінак CI рэкамендавана экспазіцыйную дозу вымяраць у пазасістэмных адзінках — рэнтгенах і яго вытворных.

ПАГЛЫНУТАЯ ДОЗА

Экспазіцыйная доза характарызуе поле радыяцыі вакол аб'екта. Уздзеянне ж на аб'ект (арганізм) аказвае толькі тая частка радыяцыі, якую паглынуў гэты аб'ект. Змяненні, якія адбываюцца пад уздзеяннем розных выпраменьванняў (α, β, γ або рэнтгенаўскага), залежаць ад велічыні паглынутай энергіі выпраменьвання. Таму найбольш зручнай характарыстыкай, якая вызначае ступень уздзеяння выпраменьвання на аб'ект, з'яўляецца паглынутая энергія выпраменьвання. Энергію любога віду выпраменьвання, паглынутую ў 1 г рэчыва, называюць паглынутай дозай. Такім чынам, п а г л ы н у т а я   д о з а — гэта колькасць энергіі, паглынутай адзінкай масы апрамененага цела (тканкамі арганізма).

За адзінку паглынутай дозы прымаецца грэй (Гр) (названы ў гонар англійскага фізіка і радыебіёлага Л. Грэя). Г р э й — гэта такая паглынутая доза выпраменьвання, пры якой масе апрамененага рэчыва ў 1 кг перадаецца энергія іанізуючага выпраменьвання ў 1 Дж.

1 Гр = 1 Дж/кг.

У некаторых выпадках доза радыяцыі можа быць значна меншай, чым 1 Гр. Тады яе вызначаюць у сотых — сантыгрэях (сГр), тысячных — мілігрэях (мГр) або мільённых — мікрагрэях (мкГр) частках грэя.

1 сГр = 10^{-2} Гр; 1 мГр = 10^{-3} Гр;

1 мкГр = 10^{-6} Гр.

Дагэтуль яшчэ выкарыстоўваецца і старая адзінка паглынутай дозы — рад. Суадносіны паміж грэем і радам наступныя:

1 Гр = 100 рад; 1 рад = 0,01 Гр.

Для мяккіх тканак у полі рэнтгенаўскага або γ-выпраменьвання паглынутай дозе 1 рад адпавядае экспазіцыйная доза, роўная прыблізна 1 Р.

ЭКВІВАЛЕНТНАЯ ДОЗА

Пры адной і той жа паглынутай дозе розныя віды выпраменьванняў выклікаюць неаднолькавыя пашкоджанні біялагічных аб'ектаў. Гэта тлумачыцца іх рознай здольнасцю іанізацыі да рэчыва.

Такім чынам, радыебіялагічны эфект залежыць не толькі ад паглынутай дозы, але і ад удзельнай іанізацыі (ад колькасці пар іонаў на адзінкавым прамежку даўжыні прабегу, або ад лінейнай перадачы энергіі — ЛПЭ*). Вось чаму пры адной і той жа паглынутай дозе ўздзеянне выпраменьвання тым больш, чым шчыльней створаная гэтым выпраменьваннем іанізацыя. Значыць, біялагічны эфект залежыць не толькі ад дозы апраменьвання, але і ад віду іанізуючай радыяцыі. Таму для параўнання розных відаў апраменьвання ўведзена *адносная біялагічная эфектыўнасць* (АБЭ). АБЭ ўказвае, у колькі разоў біялагічны эфект пры ўздзеянні гэтага віду апраменьвання мацней за дзеянне стандартнага апраменьвання на вывучаны аб'ект (жывая клетка, арганізм у цэлым). У якасці стандартнага апраменьвання прынята рэнтгенаўскае апраменьванне з энергіяй 188 — 200 кэВ.

Рэгламентаваныя значэнні АБЭ, установленыя для кантролю ступені радыяцыйнай бяспекі пры хранічным апраменьванні, называюць *каэфіцыентам якасці* (КЯ) выпраменьвання. КЯ вызначае залежнасць неспрыяльных біялагічных вынікаў апраменьвання чалавека ў малых дозах ад ЛПЭ выпраменьвання. Інакш кажучы, КЯ — каэфіцыент, які паказвае, у колькі разоў дадзены від выпраменьвання больш біялагічна небяспечны, чым рэнтгенаўскае і γ-выпраменьванне пры аднолькавай паглынутай дозе.

Значэнні каэфіцыента якасці для розных відаў энергій выпраменьвання рэкамендаваны Міжнароднай камісіяй па радыяцыйнай ахове — МКРА (табл. 2).

Рэнтгенаўскае і γ-выпраменьванні пашкоджваюць жывы арганізм прыблізна аднолькава і для іх КЯ = 1. Для α-выпраменьвання КЯ = = 20. Гэта азначае, што α-выпраменьванне, якое трапляе ўнутр арганізма, у 20 разоў больш небяспечнае. Каб пазбегнуць памылак пры вызначэнні ступені радыяцыйнай небяспекі апраменьвання, паглынутую дозу трэба памножыць на КЯ выпраменьвання. Атрыманую такім чынам дозу называюць *эквівалентнай*.

---

* ЛПЭ — гэта энергія, якая перададзена зараджанай часцінкай на адзінцы даўжыні яе прабегу ў рэчыве, або лік пар іонаў, што ўтвараюцца на адзінцы даўжыні прабегу. За адзінку ЛПЭ прымаюць 1 кэВ/мкм (1 кэВ/мкм = 62 Дж/м). У залежнасці ад значэння ЛПЭ усе выпраменьванні падраздзяляюцца на рэдкаіанізуючыя (ЛПЭ < 10 кэВ/мкм) і шчыльнаіанізуючыя (ЛПЭ > 10 кэВ/мкм).

Табл. 2. **Сярэднія значэнні каэфіцыента якасці для розных відаў і энергій выпраменьвання**

Від выпраменьвання	Каэфіцыент якасці
Рэнтгенаўскае і γ-выпраменьванне	1
Электроны і пазітроны	1
β-Выпраменьванне	1
Пратоны з энергіяй < 10 МэВ	10
Нейтроны з энергіяй < 20 кэВ	3
Нейтроны з энергіяй 0,1 · 10 МэВ	10
α-Выпраменьванне з энергіяй < 10 МэВ	20

Эквівалентная доза — асноўная велічыня, пры дапамозе якой ацэньваюцца шкодныя эфекты біялагічнага ўздзеяння любога тыпу іанізуючага выпраменьвання. Адзінкай вымярэння дозы з'яўляецца зіверт (Зв), у гонар шведскага радыёлага Р. Зіверта.

З і в е р т — гэта адзінка паглынутай дозы, памножаная на КЯ выпраменьвання. Пры яго дапамозе ўлічваюць неаднолькавую радыяцыйную небяспеку для жывога арганізма розных відаў іанізуючага выпраменьвання.

Выкарыстоўваюцца і больш дробныя адзінкі: мілізіверт (мЗв) — тысячная і мікразіверт (мкЗв) — мільённая часткі зіверту.

$$1\ \text{мЗв} = 10^{-3}\ \text{Зв};\ 1\ \text{мкЗв} = 10^{-6}\ \text{Зв}.$$

Аднак выкарыстоўваецца і старая адзінка эквівалентнай дозы — б і я л а г і ч н ы э к в і в а л е н т р э н т г е н у (бэр).

Б э р — адзінка эквівалентнай дозы любога віду выпраменьвання ў біялагічных тканках, якая стварае такі ж біялагічны эфект, як і паглынутая доза ў 1 рад рэнтгенаўскага або γ-выпраменьвання.

Бэр у сто разоў меншы, чым зіверт.

$$1\ \text{бэр} = 10^{-2}\ \text{Зв} = 0{,}01\ \text{Зв};$$

$$1\ \text{Зв} = 10^{2}\ \text{бэр} = 100\ \text{бэр}.$$

Калі паглынутая доза вымяраецца ў радах, то эквівалентная — у бэрах, а калі паглынутая доза вымяраецца ў грэях, тады эквівалентная доза — у зівертах.

Паміж паглынутай дозай, вызначанай у радах, і эквівалентнай, атрыманай у бэрах, існуюць наступныя суадносіны:

$$Д_{экв} = Д \cdot КЯ,$$

дзе $Д_{экв}$ — эквівалентная доза; Д — паглынутая доза; КЯ — каэфіцыент якасці.

Эквівалентная доза выпраменьвання з'яўляецца асноўнай велічынёй, якая вызначае узровень радыяцыйнай небяспекі пры хранічным апраменьванні чалавека ў малых дозаў. Яе можна выкарыстоўваць для ацэнкі радыяцыйнай бяспекі ад доз толькі да значэнняў, якія не перавышаюць 0,25 Зв (25 бэр) пры кароткачасовым уздзеянні. У гэтай вобласці доз карціна пашкоджанняў залежыць толькі ад велічыні паглынутай дозы выпраменьвання і КЯ.

Для паглынутай і эквівалентнай доз, як і для экспазіцыйнай, уводзіцца паняцце магутнасці дозы. Яна характарызуецца прырашчэннем дозы за адзінку часу. У такіх выпадках у якасці адзінак магутнасці дозы ўжываюцца рад/с, бэр/с або Гр/с і Зв/с, а таксама вытворныя ад іх адзінкі.

Асноўныя велічыні і адзінкі вымярэння радыеактыўнасці прыведзены ў табл. 3.

Табл. 3. **Суадносіны паміж міжнароднымі (СІ) і пазасістэмнымі адзінкамі ў вобласці радыяцыйнай бяспекі**

Велічыні	Адзінкі		Суадносіны адзінак
	міжнародныя (новыя)	пазасістэмныя (старыя)	
Актыўнасць	бекерэль (Бк)	кюры (Кы)	1 Бк = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Кы
			1 Кы = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк
Экспазіцыйная доза	кулон на кілаграм (Кл/кг)	рэнтген (Р)	1 Кл/кг = 3876 Р
			1 Р = $2{,}58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
Паглынутая доза	грэй (Гр)	рад (рад)	1 Гр = 100 рад
			1 рад = 0,01 Гр
Эквівалентная доза	зіверт (Зв)	бэр (бэр)	1 Зв = 100 бэр
			1 бэр = 10^{-2} Зв = 0,01 Зв

ЭФЕКТЫЎНАЯ ДОЗА

Органы і біялагічныя тканкі маюць розную адчувальнасць да дзеяння іанізуючага выпраменьвання. Вядома, напрыклад, што пры аднолькавай эквівалентнай дозе апраменьвання ўзнікненне раку ў

лёгкіх больш імавернае, чым у шчытападобнай залозе, а апраменьванне палавых залоз небяспечнае з прычыны рызыкі генетычных пашкоджанняў, якія перадаюцца з пакалення ў пакаленне. Таму ў выпадках нераўнамернага апраменьвання розных органаў або тканак цела чалавека ўводзіцца паняцце эфектыўнай дозы. Для вызначэння гэтай велічыні патрэбны яшчэ адзін каэфіцыент — каэфіцыент радыяцыйнай рызыкі.

Каэфіцыент радыяцыйнай рызыкі (Q) — гэта велічыня, якая ўлічвае розную радыеадчувальнасць органаў і тканак чалавека пры апраменьванні. Розныя органы і тканкі маюць розныя значэнні Q. Для чырвонага касцявога мозгу $Q = 0{,}50$, для яечнікаў $Q = 0{,}10$ і г. д. Таму дозы апраменьвання органаў і тканак адпавядаюць розным каэфіцыентам (табл. 4).

Табл. 4. **Каэфіцыент радыяцыйнай рызыкі для тканак і органаў чалавека пры раўнамерным апраменьванні ўсяго цела**

Орган або тканка	Каэфіцыент радыяцыйнай рызыкі
Чырвоны касцявы мозг	0,50
Страўнік	1,10
Касцявая тканка	0,05
Стрававод	0,30
Шчытападобная залоза	0,08
Тоўстая кішка	0,85
Малочная залоза	0,20
Печань	0,15
Лёгкія	0,85
Скура	0,02
Яечнікі, семяннікі	0,10
Мачавы пузыр	0,30
Іншыя органы і тканкі	0,50

Памножыўшы эквівалентную дозу на адпаведныя каэфіцыенты рызыкі і падсумаваўшы дадзеныя па ўсіх органах і тканках, атрымаем эфектыўную дозу, якая вызначае сумарны эфект апраменьвання для арганізма.

Адзінкі вымярэння эфектыўнай дозы супадаюць з адзінкамі эквівалентнай дозы. Яны таксама вымяраюцца ў зівертах.

Як эквівалентная, так і эфектыўная доза з'яўляецца мерай біялагічнага ўздзеяння толькі на аднаго індывідуума. Гэтыя велічыні з'яўляюцца індывідуальнымі дозамі.

КАЛЕКТЫЎНАЯ ДОЗА

З безупыннага пашырэння ўжытку іанізуючых выпраменьванняў у розных галінах навукі і тэхнікі, сельскай гаспадаркі і медыцыны непазбежна адбываецца апраменьванне вялікай колькасці людзей. Таму ўзнікае практычная неабходнасць вызначыць меру біялагічнага ўздзеяння пры апраменьванні значных груп людзей. Падсумаваўшы індывідуальныя эфектыўныя дозы, атрыманыя асобнымі людзьмі, прыходзім да калектыўнай дозы — сумы індывідуальных эфектыўных доз у дадзенай групы людзей за дадзены прамежак часу.

Калектыўную дозу можна падлічыць для насельніцтва асобнай вёскі, горада, вобласці, дзяржавы і нават усяго зямнога шара. Яе атрымліваюць шляхам множання сярэдняй эфектыўнай дозы на агульную колькасць людзей, якія знаходзіліся пад уздзеяннем выпраменьвання.

Адзінкай вымярэння калектыўнай дозы з'яўляецца чалавека-зіверт (чал.-Зв). Старая адзінка — чалавека-бэр (чал.-бэр). 1 чал.-Зв у 100 разоў больш за 1 чал.-бэр:

1 чал.-Зв = 100 чал.-бэр.

Калектыўную дозу, таксама як і эфектыўную, можна выкарыстоўваць толькі пры ўздзеянні малых доз, парадку 0,25 Зв (25 бэр) і больш.

Пры выкарыстанні калектыўнай дозы пры аптымізацыі сістэмы радыяцыйнай бяспекі трэба ўлічваць умовы яе фармавання і звязаную з ёй сярэднюю дозу, якая вызначае сярэднюю індывідуальную рызыку для дадзенай прафесійнай групы.

Калектыўная доза ў дачыненні да папуляцыі называецца папуляцыйнай. Калі ж адбываецца апраменьванне насельніцтва ўсяго зямнога шара ад якой-небудзь крыніцы, то адпаведная калектыўная доза называецца глабальнай.

ЧАКАНАЯ (ПОЎНАЯ) ДОЗА

Паколькі некаторыя радыеактыўныя рэчывы распадаюцца вельмі павольна і застануцца радыеактыўнымі нават у далёкай будучыні, то шмат якія пакаленні людзей будуць яшчэ знаходзіцца пад уздзеяннем апраменьвання.

Калектыўная эфектыўная доза, якую атрымае пакаленне за ўвесь час свайго існавання, называецца **чаканай (поўнай) калектыўнай эфектыўнай дозай**. Яна таксама вымяраецца ў чалавека-зівертах і чалавека-бэрах.

Пасля аварыі на Чарнобыльскай АЭС вялікая колькасць людзей была вымушана жыць на тэрыторыі са значным забруджваннем радыеактыўнасцю ад складанай сістэмы ізатопаў. У гэтым выпадку неабходна прадбачыць, якую дозу апраменьвання атрымае арганізм за пэўны прамежак часу або на працягу ўсяго жыцця. Атрыманыя паказчыкі з'яўляюцца падставай для ажыццяўлення ахоўных мер.

Для выяўлення іанізуючых выпраменьванняў, вымярэння іх энергіі і іншых уласцівасцей ужываюцца дазіметры і радыёметры.

Глава 3. ПРЫЛАДЫ І МЕТАДЫ КАНТРОЛЮ РАДЫЕАКТЫЎНАГА ЗАБРУДЖВАННЯ ПРЫРОДНАГА АСЯРОДДЗЯ

ПРЫЛАДЫ РАДЫЕАКТЫЎНАГА КАНТРОЛЮ

Прылады радыеактыўнага кантролю прадстаўлены двума класамі: дазіметрамі — для вымярэння экспазіцыйнай дозы або магутнасці дозы рэнтгенаўскага і γ-выпраменьвання; радыёметрамі — для вызначэння радыеактыўнасці ў аб'ектах кантролю (глеба, вада, прадукты харчавання і інш.).

З прычыны шырокага выкарыстання радыенуклідаў у народнай гаспадарцы прамысловасць выпускае вялікую колькасць дазіметрычных і радыеметрычных прылад.

Дазіметрычныя і радыеметрычныя прылады складаюцца з дэтэктара з крыніцай электрычнага сілкавання, абсталявання для пераўтварэння інфармацыі ад дэтэктара (іанізацыйная камера, газаразрадныя лічыльнікі і інш.) і абсталявання для рэгістрацыі паказчыкаў (самапісец, механічны лічыльнік).

Д э т э к т а р — найважнейшы элемент прылад, які ўжываецца для рэгістрацыі ядзерных выпраменьванняў і вымярэння іх энергіі.

Падстава рэгістрацыі любога віду выпраменьвання — яго ўзаемадзеянне з рэчывам дэтэктара. Гэтым рэчывам, якое рэпрэзентуе адчувальны аб'ём дэтэктара, можа быць газ, вадкасць або цвёрдае цела. Так з'яўляюцца адпаведныя найменні дэтэктараў: газавыя, вадкасныя, цвёрдацелыя.

У дэтэктар трапляюць іанізуючыя часцінкі, а пры выхадзе з яго з'яўляюцца сігналы (успышкі святла, імпульсы току і інш.).

Разгледзім асаблівасці дэтэктавання α-, β- і γ-выпраменьванняў.

Па механізме праходжання праз рэчыва часцінкі з зарадам падраздзяляюцца на лёгкія і цяжкія. Да лёгкіх часцінак адносяцца электроны і пазітроны (β-выпраменьванне), да цяжкіх — α-часцінкі.

Праходжанне электронаў і пазітронаў праз рэчыва мае спецыфічныя асаблівасці, якія абумоўлены малымі масамі гэтых часцінак. Яны тармозяцца рэчывам у асноўным толькі за кошт іанізуючых радыяцыйных страт. У выніку сутыкненняў у рэчыве яны адхіляюцца, а таму іх трэк не з'яўляецца прамалінейным.

Дзякуючы вялікай масе α-часцінка адхіляецца слаба, таму яе шлях у рэчыве практычна прамалінейны.

Адрозніваюць тры віды ўзаемадзеяння γ-выпраменьвання з рэчывам: фотаэфект, эфект Комптана і працэс утварэння пар.

Ф о т а э ф е к т — з'ява, якая звязана з вызваленнем электронаў цвёрдага цела (або вадкасці) пад уздзеяннем электрамагнітнага выпраменьвання.

Механізм паглынання энергіі іанізуючых выпраменьванняў залежыць ад энергіі выпраменьвання. Калі энергія кванта меншая за 100 — 200 кэВ, то найбольш імаверным механізмам паглынання з'яўляецца фотаэлектрычны эфект. Пры фотаэфекце энергія падаючага кванта цалкам перадаецца атаму, у выніку чаго з яго выбіваецца электрон.

Пры энергіях у межах ад 200 кэВ і да 100 МэВ пераважным механізмам перадачы энергіі выпраменьвання атамам і малекулам з'яўляецца э ф е к т К о м п т а н а, які прадстаўляе сабой рассейванне электрамагнітнага выпраменьвання на свабодным электроне. Эфект Комптана суправаджаецца змяншэннем частаты выпраменьвання хвалі і назіраецца пры вялікіх частотах рассейваемага электрамагнітнага выпраменьвання (у рэнтгенаўскай і γ-абласцях). Гэты эфект з'яўляецца адным з механізмаў, што вызначаюць паглынанне энергіі пры праходжанні γ-выпраменьвання праз рэчыва. Ён ляжыць у аснове прынцыпу дзеяння некаторых γ-спектрометраў.

Пачынаючы з энергій больш за 1,02 МэВ, узнікае імавернасць перадачы энергіі з утварэннем пары электрон — пазітрон.

Для рэгістрацыі часцінак вялікіх энергій неабходны дэтэктар з вялікім рабочым аб'ёмам і вялікай шчыльнасцю рабочага асяроддзя, што дазваляе атрымаць іонны трэк часцінкі. Пры гэтым значна павялічыцца і эфектыўнасць рэгістрацыі.

Спынімся на асноўных фізічных прынцыпах рэгістрацыі і вымярэння іанізуючых выпраменьванняў. У аснове ўсіх метадаў рэгістрацыі, даследавання і вымярэння іанізуючых выпраменьванняў ляжаць іанізуючыя і фотахімічныя дзеянні часцінак і жорсткіх светлавых квантаў, а таксама адхіленне зараджаных часцінак у магнітных палях. Гэтыя дзеянні праяўляюцца пры ўзаемадзеянні іанізуючага выпраменьвання з рэчывам, пры праходжанні праз якое яно пакідае сляды. Характар слядоў дазваляе рабіць высновы адносна знака зараду часцінкі, яе энергіі, імпульсу.

Часцінкі, што маюць зарад, вызываюць іанізацыю атамаў на сваім шляху, а γ-кванты з энергіяй больш за 1,02 МэВ могуць быць выяўлены ў момант утварэння пары (на электроны і пазітроны) з дапамогай β-дэтэктараў або ў момант сутыкнення з ядром, што таксама прыводзіць да іанізацыі.

Прылады, якія рэгіструюць іанізуючыя выпраменьванні, падраздзяляюцца на рэгістравальныя і трэкавыя (следавыя).

Прылады можна класіфікаваць па прызначэнні (радыёметры, дазіметры), тыпе дэтэктараў, вымярэнні віду выпраменьванняў (γ-выпраменьванне, выпраменьванне β-, α-часцінак і нейтронаў), характары электрычных сігналаў, якія ператвараюцца схемай прылады (электрычныя імпульсы).

Па канструктыўных асаблівасцях радыеметрычныя і дазіметрычныя прылады падзяляюцца на чатыры групы: 1) кішэнныя — для індывідуальнага дазіметрычнага і радыеметрычнага кантролю; 2) перасовачныя — для групавога дазіметрычнага або радыеметрычнага кантролю; 3) пераносныя — для групавога дазіметрычнага або радыяцыйна-тэхналагічнага кантролю; 4) стацыянарныя — для безупыннага дыстанцыйнага дазіметрычнага і радыеметрычнага кантролю.

Дазіметрычыя прылады. Да дазіметрычных прылад адносяцца наступныя.

1. Камплект тэрмалюмінесцэнтных дазіметраў КДТ-02 прызначаецца для вымярэння экспазіцыйнай дозы рэнтгенаўскага і γ-выпраменьвання пры хранічным і аварыйным апраменьванні ў дыяпазоне энергіі 0,06 — 1,25 МэВ ад 0,001 да 10 Гр (0,1 – 10^3 Р).

2. Аўтаматызаваны комплекс індывідуальнага дазіметрычнага кантролю АКІДК — для вымярэння пры ІДК эквівалентнай і паглынутай доз фатоннага выпраменьвання ў энергетычным дыяпазоне 0,02 — 10 МэВ. Можа выкарыстоўвацца для ІДК персаналу і насельніцтва колькасцю да 10 000 чалавек.

3. Камплект тэрмалюмінесцэнтных дазіметраў ТДК-01Ц — для вымярэння пры ІДК эквівалентнай (у дыяпазоне 0,2 — 6 МэВ) і паглынутай (у дыяпазоне 0,05 — 6,0 МэВ) доз фатоннага выпраменьвання.

4. Дазіметр ДБГ-06Т (партатыўны) — для вымярэння аб'ёмнай β-актыўнасці нуклідаў газаў у паветры, а таксама для вымярэння экспазіцыйнай дозы фатоннага выпраменьвання і індыкацыі месца выцечкі радыеактыўнага газу з тэхналагічнага абсталявання.

5. Універсальны дазіметр ДКС-90 для вымярэння эквівалентнай дозы і яе магутнасці непарыўнага (ДКС-90У, ДКС-90Н) і імпульснага (ДКС-90У) фатоннага выпраменьвання ад узроўню пры-

роднага фону ў шырокім дыяпазоне энергіі (10 – 10^4 В). Дыяпазон вымярэння: дозы — 1,0 – 10^6 мкЗв, магутнасці дозы — 0,1—10^6 мкЗв/гадз.

Для насельніцтва прадугледжаны наступныя дазіметрычныя прылады.

1. Дазіметр-радыёметр АНР1-01 («Сасна») — для кантролю радыяцыйнага стану магутнасці экспазіцыйнай і эквівалетнай доз γ-выпраменьвання, шчыльнасці β-выпраменьвання з забруджаных паверхняў, аб'ёмнай актыўнасці радыенуклідаў у рэчывах. Дыяпазон вымярэння магутнасці эквівалентнай дозы — 0,1 — 99,99 мкЗв/гадз, экспазіцыйнай — 0,01 — 9,999 мР/гадз.

2. Індыкатар вонкавага γ-выпраменьвання «Бэла» — для аператыўнай ацэнкі радыяцыйнага стану. Лічбавая і гукавая індыкацыя. Дыяпазон вымярэння магутнасці эквівалентнай дозы — 0,2—99,9 мкЗв/гадз (20 — 9999 мкР/гадз). Энергія рэгістраванага выпраменьвання 0,05 — 1,25 МэВ.

3. Індыкатар радыяцыйнай магутнасці дозы «Бераг» —для ацэнкі ўзроўняў радыяцыі ад 10 — 20 мкР/гадз (прыродны фон) да 120 мкР/гадз і болей. Каляровая і гукавая індыкацыя. Энергія рэгістраваных γ-квантаў 0,08 — 1,25 МэВ.

4. Дазіметр-радыёметр ІРД-02Б — для вымярэння магутнасці эквівалентнай дозы γ-выпраменьвання, ацэнкі шчыльнасці патоку γ-выпраменьвання ад забруджанасці β-, γ-выпраменьвальнымі нуклідамі проб вады, глебы, харчовых прадуктаў і г. д. Дыяпазон вымярэння (па γ-выпраменьванні нукліду цэзій-137) магутнасці эквівалентнай дозы — 0,1 — 20 мкЗв/г (10 — 1999 мкР/г), забруджанасці проб — $1 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^6$ Бк/л.

5. Дазіметр СІМ-0,5 («Юпітэр») — для аператыўнай ацэнкі ўзроўню магутнасці эквівалентнай дозы γ-выпраменьвання. Дыяпазон ацэнкі магутнасці дозы, мкЗв/г: у рэжыме «Меранне» — 0,01 — 99,99, у рэжыме «Пошук» — 0,1 — 999,9.

6. Дазіметр «Майстар-1» — для аператыўнага кантролю радыяцыйнага становішча. Дыяпазон вымярэння магутнасці экспазіцыйнай дозы — 10 — 999 мкР/г, эквівалетнай — 0,1 — 9,99 мкЗв/гадз.

7. Прылада камбінавання РКМБ-104 — для індывідуальнага і калектыўнага кантролю радыяцыйнага становішча. Дыяпазон вымярэння магутнасці эквівалентнай дозы γ-выпраменьвання — 0,1—99,99 мкЗв/гадз.

Радыеметрычныя прылады. Да радыеметрычных прылад адносяцца наступныя.

1. β-Радыёметр РУБ-01П6. Прызначаецца для вымярэння ўдзельнай і аб'ёмнай актыўнасці цэзію-134 і цэзію-137 або іх сумесі з

вядомымі працэнтнымі суадносінамі ў пробах прыроднага асяроддзя і сельскагаспадарчай прадукцыі (вада, малочныя і мясныя прадукты, глеба, расліны). Дыяпазон вымярэння — $20 - 2 \cdot 10^5$ Бк/л (кг).

2. Радыёметры КРВП-3АБ, «Бэта» — для масавага селектыўнага кантролю харчовых прадуктаў (базы, рынкі і інш.).

3. Універсальны радыёметр-дазіметр МКС-01Р1 — для вымярэння ступені забруджанасці α- і β-актыўнымі рэчывамі, эквівалетнай і паглынутай доз рэнтгенаўскага, γ- і нейтроннага выпраменьванняў.

4. Вялікія радыёметры — для вымярэння ўзроўню радыеактыўнасці, якая накапілася ў арганізме чалавека. Яны называюцца лічыльнікамі выпраменьвання чалавека (ЛВЧ) і прызначаюцца для вымярэння ўтрымання радыенуклідаў (напрыклад, цэзію-137), што выпраменьваюць γ-кванты.

Прылады медыцынскія дыягнастычныя. 1. Радыёметр РЖГ-07-ц прызначаны для вымярэння актыўнасці радыенуклідаў у біяпробе. Выкарыстоўваецца ў радыедыягнастычнай медыцынскай лабараторыі. Дыяпазон вымярэння $0{,}4 \cdot 10^5 - 0{,}4 \cdot 10^{11}$ Бк.

2. Тырэарадыёметр ГТРМ — для вызначэння працэнтных суадносін актыўнасці радыенуклідаў, якія знаходзяцца ў шчытападобнай залозе.

У кожным выпадку радыеактыўнасць трэба вымяраць па методыках, якія зацвярджаюцца ва ўстаноўленым парадку з улікам рэальнага складу радыенуклідаў.

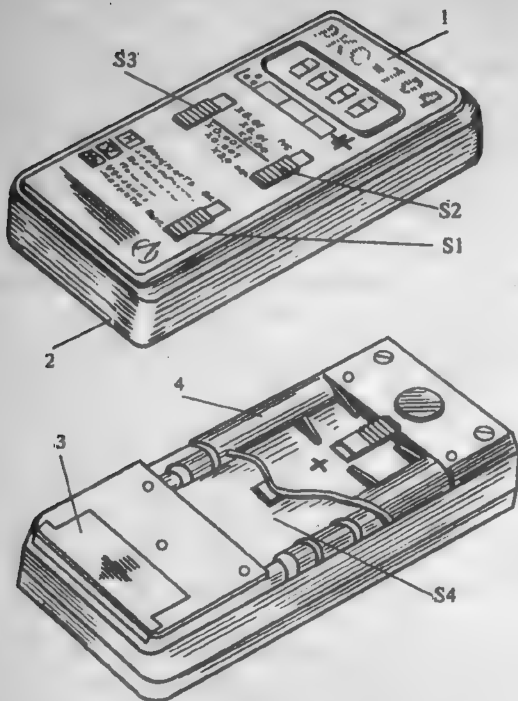
Прызначэнне, тэхнічнае апісанне, інструкцыі па эксплуатацыі, а таксама структурная схема дадаюцца да кожнай вышэйадзначанай прылады. У гэтай працы падрабязна апісваецца толькі радыёметр РКМБ-104, камбінаваны, мяшанага выпраменьвання, бытавы. Ён выконвае функцыі дазіметра і радыёметра і прызначаецца для індывідуальнага выкарыстання насельніцтва з мэтай кантролю радыяцыйнай сітуацыі на мясцовасці, у жылых і працоўных памяшканнях.

Пры дапамозе РКМБ-104 можна вызначыць наступныя фізічныя велічыні: а) магутнасць эквівалентнай дозы γ-выпраменьвання; б) дозу γ-выпраменьвання з паверхняў, забруджаных радыенуклідамі.

Паколькі прылада з'яўляецца бытавой, то вынікі яе вымярэнняў не могуць выкарыстоўвацца дзяржаўнымі органамі для выдачы афіцыйных заключэнняў аб радыяцыйнай сітуацыі.

Канструкцыя прылады РКМБ-104. Радыёметр РКМБ-104 складаецца з корпуса і накрыўкі, якія замацоўваюцца паміж сабой (рыс. 7).

На корпусе ёсць наступныя маркіравальныя адзнакі. У верхняй частцы пярэдняй панелі прылады — адзнака яго тыпу паводле дзяржаўнага (былога СССР) рэестру: РКМБ-104; пад ім прадугле-



Рыс. 7. Агульны выгляд прылады РКМБ-104:
1 — корпус; *2* — накрыўка; *3* — накрыўка адсека сілкавання;
4 — накрыўка-фільтр; S1, S2, S3 — тры тумблеры; S4 — кодавы пераключальнік

джваецца акно для вадкакрыштальнага індыкатара, які зманціраваны на пячатнай плаце ўнутры корпуса прылады. Тут жа размяшчаецца і п’езакерамічны званок.

У ніжняй частцы панелі злева ў рознакаляровых шырокіх прамавугольніках размяшчаюцца адзінкі для вымяраемых велічынь і іх скарочаныя найменні: $\dot{H}$ — магутнасць эквівалентнай дозы — блакітнага колеру; φ — шчыльнасць патоку — рудага; A_m — удзельная актыўнасць — зялёнага. Адпаведна прыняты ўмоўныя адзнакі і скарочаныя найменні велічынь: магутнасць палявой эквівалентнай дозы γ-выпраменьвання, шчыльнасць патоку β-выпраменьвання з паверхні, удзельная радыеактыўнасць радыенуклідаў цэзію-137. Такімі ж колерамі адзначана ўся службовая інфармацыя, якая ёсць на пярэдняй панелі прылады.

Пад табло ў вузкіх прамавугольніках таго ж колеру, што і адзнакі вымяраемых велічынь ($\dot{H}$, φ, A_m), указваюцца прынятыя адзнакі іх вымярэння (мкЗв/гадз, $1/с \cdot см^2$, Бк/кг). Адзнакі адзінак вымярэння размяшчаюцца пад чатырма разрадамі індыкатара, на якіх з'яўляецца вымяральная інфармацыя (чатырохразрадныя лікі — ад 0000 да 9999). Напрыклад, пры з'яўленні на табло лічбаў 0008, 0018, 0104, 8750 з'яўляюцца і адпаведныя паказанні прылады — 8, 18, 104, 8750.

Пад першым старэйшым разрадам індыкатара наносіцца знак «$\lfloor 0\,^0\,0 \rfloor$» перапаўнення індыкатара; на табло пры гэтым перапаўненні з'яўляецца сімвал « ÷ ». Пад апошнім малодшым разрадам індыкатара наносіцца знак « ⊣|⊢ ». Пры разрадцы батарэй сілкавання да напружання 6,0 В на індыкатары з'яўляецца сімвал «V».

У сярэдняй і ніжняй (справа) частках пярэдняй панелі прылады размяшчаюцца тры тумблеры для ўключэння прылады і выбару рэжыму яе працы (S1, S2, S3). Тумблеры прызначаюцца для кіравання прыладай. Тумблер S1 мае адзнакі «УКЛ» і «ВЫКЛ», тумблер S2 — «РАБ» і «ДЕЖ». Тумблер S3 мае наступныя адзнакі: уверсе — «ХО,01, ХО,01, Х200»; унізе — «ХО,001, ХО,001, Х20». У правым ніжнім вугле пярэдняй панелі прылады наносіцца фірмавы знак.

У накрыўцы прылады знаходзяцца яшчэ дзве лёгказдымныя накрыўкі — адсека сілкавання і накрыўка-фільтр.

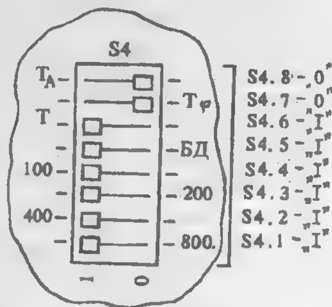
У верхняй частцы накрыўкі ёсць круглае акно, у якое выводзіцца раздым для падключэння вонкавага блока дэтэктавання. Батарэя «Карунд» для сілкавання прылады ставіцца разам з калодкай падключэння ў ніжні адсек прылады, які зачыняецца здымнай накрыўкай.

На накрыўку-фільтр прылады наносяцца знакі « ▼ » і « + ». Першы паказвае кірунак перамяшчэння зачыняючай зашчэпкі пры зняцці накрыўкі-фільтра, другі — цэнтр плоскасці размяшчэння лічыльніка. Пры рабоце прылады як радыёметра гэта накрыўка здымаецца. На накрыўцы адсека сілкавання ўказваецца велічыня напружання батарэі («9 V») і стрэлка « ↓ », якая паказвае кірунак перамяшчэння накрыўкі пры яе зняцці. Трохі вышэй стрэлкі ставіцца пломба прадпрыемства-вытворцы, побач размяшчаецца заводскі парадкавы нумар прылады.

Пад накрыўкай-фільтрам знаходзіцца кодавы пераключальнік (S4), які складаецца з 8 рухавічкоў (нумарацыя ажыццяўляецца знізу ўверх, ад першага да восьмага), і два паралельна ўбудаваныя газаразрадныя лічыльнікі СБМ-20, якія зачыняюцца толькі плёначнымі фільтрамі і рэпрэзентуюць абсталяванне дэтэктавання выпра-

меньванняў. З дапамогай рухавічкоў кодавага пераключальніка можна выбраць від вымярэння і паставіць парогі дзеяння сігналізацыі. Ніжэй кодавага пераключальніка наносяцца лічбы «1» і «0», якія адпавядаюць становішчу рухавічкоў.

Падрыхтоўка прылады да працы. Адчыніць накрыўку адсека сілкавання і падключыць батарэю «Карунд» да калодкі, накрыўку зачыніць. Зняць заднюю накрыўку-фільтр, рухавічкі кодавага пераключальніка S4.1 — S4.6 паставіць у становішча «1», а S4.7 — S4.8 — у становішча «0» (рыс. 8). Затым накрыўка-фільтр ставіцца на месца. Органы кіравання прылады S2 і S3 пераводзяцца адпаведна ў становішча «РАБ» і «ХО,01, ХО,01, Х200».



Рыс. 8. Рухавічкі кодавага пераключальніка S4.1 — S4.6 знаходзяцца ў становішчы «1», а S4.7 — S4.8 — у становішчы «О»

Працаздольнасць вымяральнай сістэмы правяраецца наступным чынам. Тумблер S1 пераводзяць у становішча «УКЛ», і прылада пачынае рэгістраваць вонкавы радыяцыйны фон. Прыблізна праз 28 с пасля ўключэння прылады з'явіцца перарывісты гукавы сігнал і на табло індыкатара павінен усталявацца чатырохразрадны лік, які пры множанні на каэфіцыент 0,01 вызначыць велічыню натуральнага фону ў мікразівертах у гадзіну (мкЗв/гадз). Пасля ўсталявання чатырохразраднага ліку (прыблізна 14 с) гукавы сігнал спыняецца і прылада аўтаматычна паўтарае цыкл вымярэння. Прылада выключаецца.

Для праверкі работы парогавага абсталявання рухавічкі тумблераў S2 і S3 трэба паставіць адпаведна ў становішча «ДЕЖ» і «ХО,001, ХО,001, Х20». Пасля ўключэння прылады тумблерам S1 на працягу прыблізна 4,5 хвілін на табло павінна з'явіцца ўсё большае і большае значэнне чатырохразраднага ліку. У момант перавышэння значэння 0100 ± 0010 (што адпавядае парогу дзеяння сігналізацыі, які вызначаецца спажыўцом, і роўна 01 мкЗв/гадз) прылада павінна выдаць безупынны гукавы сігнал.

Павелічэнне ліку на табло будзе працягвацца да сканчэння цыкла вымярэння. Выключэнне гукавага сігналу павінна адбыцца пасля двухразовага перавышэння вызначанага парога дзеяння сігналізацыі або пасля заканчэння цыкла вымярэння.

Пасля гэтага прыладу трэба выключыць і паставіць такі парог дзеяння сігналізацыі, які неабходны спажыўцу.

Парадак работы. Для вымярэння магутнасці эквівалентнай дозы трэба:

1) зняць заднюю накрыўку-фільтр і перавесці рухавічкі кодавага пераключальніка ў наступнае становішча: S4.8 — 0, S4.7 — 0, S4.6 — 1, S4.5 — 1. Пасля гэтага неабходна ўсталяваць накрыўку-фільтр на ранейшае месца;

2) перавесці тумблеры S2 і S3 адпаведна ў становішча «РАБ» і «ХО,01, ХО,01, Х200»;

3) уключыць прыладу тумблерам S1 («УКЛ»). Праз 27 — 28 с прылада выдае перарывісты гукавы сігнал, а на табло ўсталёўваецца чатырохзначны лік, пры множанні значнай часткі якога на каэфіцыент 0,01 атрымліваем магутнасць эквівалентнай дозы γ-выпраменьвання ў мікразівертах у гадзіну. Напрыклад, на табло з'яўляецца лік 0,016; яго значная частка — 16, каэфіцыент пераліку — 0,01. Магутнасць экспазіцыйнай дозы складае $(16 \cdot 0{,}01) = 0{,}16$ мкЗв/гадз (16 мкР/гадз).

На тэрыторыі Беларусі магутнасць эквівалентнай дозы γ-выпраменьвання, абумоўленая натуральным радыяцыйным фонам, вагаецца (у залежнасці ад раёна) ад некалькіх сотых да некалькіх дзесятых мікразівертаў у гадзіну.

Для вымярэння забруджанасці паверхняў β-выпраменьваючымі радыенуклідамі неабходна:

1) зняць накрыўку-фільтр і перавесці рухавічкі кодавага пераключальніка ў наступнае становішча: S4.8 — 0, S4.7 — 1, S4.6 — 0, S4.5 — 1. Пасля гэтага неабходна ўсталяваць накрыўку-фільтр на ранейшае месца;

2) перавесці тумблеры S2 і S3 адпаведна ў становішча «РАБ» і «ХО,01, ХО,01, Х200»;

3) паднесці прыладу да паверхні, якая даследуецца, размясціць паміж імі пластмасавую ўпакоўку або аднесці прыладу ад гэтай паверхні на адлегласць 110 — 120 см. Уключыць прыладу тумблерам S1 («УКЛ»). Зафіксаваць фонавыя паказанні прылады ($\varphi_ф$), запісаўшы або запомніўшы іх;

4) выключыць прыладу;

5) паўтарыць вымярэнне забруджвання паверхні β-выпраменьваючымі радыенуклідамі, размясціўшы прыладу пад паверхняй на адлегласці не больш за 1 см;

6) уключыць прыладу тумблерам S1, зноў запісаць або запомніць яе паказанні ($\varphi_в$), якія ўсталяваліся падчас дзеяння перарывістага сігналу. Трэба ведаць, што лік, які характарызуе $\varphi_в$, будзе большы за лік $\varphi_ф$;

7) вызначыць велічыню забруджвання паверхні β-выпраменьваючымі радыенуклідамі па формуле

$$\varphi = K_1(\varphi_в - \varphi_ф),$$

дзе φ — шчыльнасць патоку β-выпраменьвання з паверхні ў часцінках у секунду з квадратнага сантыметра, 1 с/см^2; K_1 — каэфіцыент, роўны 0,01; $\varphi_в$ — паказанні прылады са знятай накрыўкай; $\varphi_ф$ — паказанні прылады, якія адпавядаюць натуральнаму радыяцыйнаму фону γ-выпраменьвання.

Неабходна адзначыць, што афіцыйныя звесткі аб дапушчальных узроўнях радыяцыйнага забруджвання паверхняў розных аб'ектаў можна атрымаць у бліжэйшай санэпідэмстанцыі Міністэрства аховы здароўя. Прычым пры вызначэнні дозы γ-выпраменьвання з паверхняў, забруджаных рознымі радыенуклідамі, ужываюцца іншыя каэфіцыенты (K_1), значэнні якіх вызначаюцца ў даследчых лабараторыях.

МЕТАДЫ РАДЫЕАКТЫЎНАГА КАНТРОЛЮ

У залежнасці ад таго, якія сігналы выкарыстоўваюцца для рэгістрацыі, адрозніваюць іанізуючыя, сцынтыляцыйныя, хімічныя і фатаграфічныя метады выяўлення і вымярэння іанізуючых выпраменьванняў.

Іанізуючы метад. Пры праходжанні любога іанізуючага выпраменьвання ў газах і паветры ў выніку іанізацыі ўтвараюцца электроны і дадатныя іоны. Калі іанізацыя адбываецца ў слоі газу паміж двума электродамі, якія маюць розныя патэнцыялы, то электроны і іоны будуць рухацца да адпаведных электронаў і ў ланцугу ўзнікне ток. Па велічыні гэтага току мяркуюць аб інтэнсіўнасці іанізуючага эфекту.

Сцынтыляцыйны метад. Пад уздзеяннем выпраменьванняў некаторыя рэчывы (антрацэн, сульфід цынку, ёдыд натрыю і інш.) могуць вылучаць бачнае выпраменьванне (свяціцца) у выніку пераходу атамаў або малекул у асноўны стан. З дапамогай фотаэлектроннага памнажальніка энергія гэтых светлавых успышак (сцынтыляцый) праз працэсы фотаэфекту ператвараецца ў імпульсы электрычнага току. Па іх колькасці мяркуюць аб інтэнсіўнасці іанізуючых выпраменьванняў.

Хімічны метад. Паглынанне энергіі рэчывам можа выклікаць розныя хімічныя рэакцыі, з якіх вынікаюць неабарачальныя змяненні ў самім рэчыве. Разгледзім, напрыклад, апраменены водны раствор сульфату жалеза ($FeSO_4$) з разведзенай сернай кіслатой (H_2SO_4). Пры гэтым двухвалентнае жалеза акісляецца радыкаламі

OH да трохвалентнага жалеза, і гэта апошняе якраз і з'яўляецца мерай паглынання энергіі. Колькасць іонаў трохвалентнага жалеза вызначаюць па шчыльнасці афарбоўкі рэактыву — солі раданістага калію (KCNS), які пасля апраменьвання афарбоўвае раствор у чырвоны колер. Велічыня інтэнсіўнасці афарбоўкі будзе прапарцыянальнай велічыні паглынутай энергіі.

Фатаграфічны метад. Гэты метад зыходзіць з уласцівасці выпраменьванняў (аналагічна бачнаму святлу) уздзейнічаць на фотаэмульсію і выклікаць яе пачарненне. Фотаэмульсія — гэта тонкі слой жэлаціну, які наносіцца на падложку цэлулоіду, шкла або іншага матэрыялу з раўнамерным размяшчэннем дробных крышталяў серабра (звычайна бромістага або хлорыстага). Пад уздзеяннем іанізуючых выпраменьванняў у крышталях утвараюцца цэнтры выяўлення, якія складаюцца з груп атамаў металічнага серабра. Сукупнасць гэтых цэнтраў стварае ўтоены відарыс. Падчас выяўлення адбываецца ўзнаўленне металічнага серабра ў тых крышталях, у якіх стварыліся цэнтры ўтоенага відарыса. Вынікам гэтага з'яўляецца пачарненне фотаэмульсіі. Ступень пачарнення фотаэмульсіі характарызуецца аптычнай здольнасцю пачарнення.

На практыцы даводзіцца вызначаць шчыльнасць пачарнення, велічыня якога не перавышае трох адзінак. Шчыльнасць пачарнення вымяраюць з дапамогай фатометра або дэнсітометра, і па рэзультатах гэтага вымярэння вызначаецца паглынутая доза.

Глава 4. БІЯЛАГІЧНАЕ ЎЗДЗЕЯННЕ ІАНІЗУЮЧЫХ ВЫПРАМЕНЬВАННЯЎ

УЗДЗЕЯННЕ РАДЫЯЦЫІ НА ЧАЛАВЕКА

Пад б і я л а г і ч н ы м у з д з е я н н е м іанізуючых выпраменьванняў разумеюць звязаную з апраменьваннем сукупнасць марфалагічных і функцыянальных змяненняў у жывым арганізме.

Усе іанізуючыя выпраменьванні валодаюць біялагічным уздзеяннем, гэта значыць здольнасцю выклікаць змяненні ў клетках, тканках, органах і арганізмах. Размяшчэнне адвольнага жывога аб'екта ў полі выпраменьвання непазбежна выклікае ўздзеянне поля, якое з'яўляецца вынікам паглынання энергіі выпраменьвання элементамі біяструктур арганізма.

У залежнасці ад дозы апраменьвання і шэрага іншых варункаў выпраменьванне можа аказваць неспрыяльны ўплыў на жывы

суб'ект, аж да поўнай яго пагібелі. Каб лепш уявіць небяспеку яго ўздзеяння на чалавека, разгледзім некалькі прыкладаў. У асноўным яны маюць дачыненне да пачатку нашага стагоддзя, калі даследчыкі працавалі з рэнтгенаўскімі прамянямі і не мелі пры гэтым ніякага ўяўлення аб іх небяспецы.

Перш за ўсё даследчыкі адзначылі, што пры апраменьванні могуць узнікаць пашкоджанні скуры і выпаданне валасоў. Ужо ў 1895 г. адзін з памочнікаў Рэнтгена атрымаў радыяцыйны апёк рук, які суправаджаўся развіццём цяжкага запаленчага захворвання скуры. Некалькі пазней у літаратуры з'явілася апісанне 23 выпадкаў пашкоджання скуры пры рэнтгенаўскім апраменьванні. Нічога не ведаў аб небяспецы нябачных прамянёў і Бекерэль. Ён паклаў прабірку з радыем у кішэнь камізэлькі. І тады на яго руках з'явіліся язвы, якія доўга не загойваліся. Марыя Кюры, якая вельмі часта знаходзілася пад уздзеяннем радыеактыўнага выпраменьвання, памерла ад злаякаснага захворвання крыві. Такі ж лёс напаткаў і яе дачку Ірэн, якая дапамагала маці ў даследаваннях. Звыш 336 чалавек, якія працавалі ў той час з радыеактыўнымі элементамі, памерлі з прычыны апраменьвання. Адзначым таксама, што асабліва часта выпадкі захворвання ракам лёгкіх назіраюцца ў шахцёраў (з прычыны працяглага ўдыхання радыеактыўнага пылу).

Для забеспячэння радыяцыйнай бяспекі кожны чалавек павінен ведаць пра асноўныя ўласцівасці біялагічнага ўздзеяння іанізуючага выпраменьвання:

1) арганізм непасрэдна не адчувае дзеянне радыяцыі. Радыяцыя не мае ні паху, ні смаку, мы яе не бачым і не чуем. Дазіметрычныя прылады — гэта як бы дадатковы орган пачуццяў, які ўспрымае радыяцыю;

2) першыя сімптомы пашкоджання, характэрныя для прамянёвай хваробы (слабасць, млоснасць і інш.), з'яўляюцца не адразу, а праз нейкі час пасля апраменьвання;

3) эфекты дзеяння дробных доз падсумоўваюцца, але чалавек гэтага не заўважае.

Ёсць два шляхі, па якіх выпраменьванне дасягае тканак арганізма і ўздзейнічае на іх. Першы — вонкавае апраменьванне ад крыніцы*, якая размяшчаецца па-за арганізмам; другі — унутранае апраменьванне, пры якім крыніца знаходзіцца ўнутры чалавечага арганізма. Іанізуючае выпраменьванне трапляе туды праз лёгкія пры ўдыханні, праз стрававальны (страўнікава-кішачны) тракт разам з ежай, праз

---

* Крыніцай іанізуючага выпраменьвання называюць аб'ект, які ўтрымлівае радыеактыўнае рэчыва, а таксама тэхнічную прыладу, якая выпраменьвае (або пры пэўных умовах можа выпраменьваць) іанізуючыя прамяні.

скурныя пашкоджанні, праз здаровую скуру шляхам абсорбцыі (паглынання). У некаторых выпадках маюць месца ўздзеянні і вонкавага, і ўнутранага апраменьвання. Тады кажуць аб спалучаных радыяцыйных пашкоджаннях.

ЭТАПЫ ЎЗДЗЕЯННЯ РАДЫЯЦЫІ НА БІЯЛАГІЧНЫЯ АБ'ЕКТЫ

Уздзеянне іанізуючага выпраменьвання на біялагічныя аб'екты можна падзяліць на тры этапы: фізічны, фізіка-хімічны і біялагічны.

Фізічны (пачатковы) этап. Развіваецца на атамарным узроўні — пры ўзбуджэнні і іанізацыі атамаў. Менавіта ў гэтых фізічных актах узаемадзеяння адбываецца перадача энергіі іанізуючага выпраменьвання аб'екта. Аднак гэта энергія па цеплавым эфекце надзвычай дробязная. Напрыклад, абсалютна смяротнай дозе для чалавека, роўнай 10 Гр (1000 рад) на ўсё цела, адпавядае цеплавая энергія, якая дазваляе нагрэць арганізм усяго толькі на 0,001 °С, што адпавядае ужыванню адной шклянкі гарачай гарбаты. Таму біялагічнае дзеянне радыяцыі немагчыма звесці толькі да змяненняў тэмпературы. Не можа растлумачыць дэструктыўнага дзеяння выпраменьвання і толькі непасрэдная іанізацыя атамаў (без уліку другасных эфектаў). Гэта звязана ■ тым, што пры дозах апраменьвання, якія выклікаюць вялікія пашкоджанні і нават пагібель арганізма, адносная колькасць узнікаючых іонаў даволі нязначная. Так, аднаразовае апраменьванне дозай 6 Гр (600 рад) для чалавека адпавядае ўтварэнню прыблізна 10^{15} іонаў/$см^3$ тканак, што ў пераліку на іанізацыю малекул вады складае ўсяго толькі адну іанізаваную малекулу на 10 млн. Працяканне фізічнага этапу дадзенага працэсу вымяраецца трыльённымі часткамі секунды.

Фізічна-хімічны этап. Характарызуецца змяненнем малекул і пашкоджаннем клеткі. Гэта адбываецца так. Іанізуючае выпраменьванне парушае мембранную пранікальнасць клеткі і пасля шэрага складаных працэсаў унутры клеткі выклікае яе пашкоджанне. Цяпер устаноўлена, што працэсы размеркавання іонаў унутры клеткі — гэта складаная функцыя шмат якіх фактараў. Так, істотным этапам радыяцыйнага пашкоджання клеткі з'яўляецца парушэнне працэсаў перамяшчэння іонаў праз біялагічныя мембраны. Змяненне пранікальнасці клетачных мембран і ўнутрыклетачных структур — гэта адна з найбольш ранніх праяў дзеяння іанізуючай радыяцыі. Аснову першасных фізіка-хімічных змяненняў малекул складаюць прамы і непрамы (пабочны) механізмы дзеяння выпраменьванняў. Выяўлена, што механізм біялагічнага ўздзеяння розных відаў ра-

дыяцыі ў асноўным аднолькавы і звязаны са змяненнямі ў малекулярнай структуры апраменай жывой тканкі.

Пры прамым дзеянні радыяцыі падчас узбуджэння і іанізацыі адбываецца дысацыяцыя (распад) малекул з прычыны разрыву іх хімічных сувязей. У першую чаргу разбураюцца ферменты і гармоны і адпаведна ў арганізме ажыццяўляюцца фізіка-хімічныя зрухі.

Згодна з тэорыяй «мішэні», прамое дзеянне выпраменьвання — гэта непасрэдная перадача энергіі біялагічна актыўным малекулам («мішэням»). Пры гэтым дзеянне выпраменьвання адбываецца толькі пры пападанні іанізуючых часцінак у адчувальны аб'ём клеткі.

Ускоснае дзеянне радыяцыі — гэта ўзаемадзеянне біялагічна актыўных малекул з прамежкавымі прадуктамі, якія ўтвараюцца пад уплывам іанізуючых выпраменьванняў. Відавочна, што пры ўскосным уздзеянні малекула непасрэдна не паглынае энергію выпраменьванняў, а атрымлівае яе ад другой малекулы.

Вядома, што ў біялагічнай тканцы 60 — 90 % масы састаўляе вада. Пры ўскосным дзеянні радыяцыі асаблівай увагі заслугоўвае радыёліз вады, дзякуючы якому ў асяроддзі паяўляюцца хімічна актыўныя радыкалы H^+, OH^-, якія адрозніваюцца вельмі высокай рэакцыйнай здольнасцю.

У прысутнасці кіслароду ўтвараюцца і другія прадукты радыёлізу: свабодны радыкал гідраперакісу HO_2, перакіс вадароду H_2O_2 і атамарны кісларод.

Апроч гэтых акісляльных прадуктаў у працэсе радыёлізу вады ўзнікаюць гідратаваныя электроны (стабілізаваная форма электрона). Яны таксама валодаюць высокай рэакцыйнай здольнасцю, але ўжо ў якасці аднаўляльніка, таму рэагуюць з прадуктамі радыёлізу і з другімі рэчывамі, якія лёгка аднаўляюцца.

Такім чынам, фізіка-хімічны этап узаемадзеяння энергіі з рэчывам пачынаецца з моманту ўтварэння ў клетках, што падвергліся апраменьванню, актыўных радыкалаў і перакісаў, якія энергічна ўступаюць у хімічныя рэакцыі з непарушанымі малекуламі другіх рэчываў клеткі. Гэта прыводзіць да змянення біяхімічных працэсаў у арганізме. Працягласць такога працэсу састаўляе мільённыя долі секунды. На гэтым заканчваецца фізіка-хімічны этап радыяцыйнага ўздзеяння на жывы арганізм і пачынаецца біялагічны.

У выніку прамога і ўскоснага дзеяння выпраменьванняў адбываюцца змяненні ў малекулярных структурах ядзер клеткі, у храмасомным апараце, паражаюцца генетычныя структуры ДНК (дэзаксірыбануклеінавая кіслата). Відавочна, што пад уздзеяннем радыяцыі змяняюцца хімічныя і біяхімічныя працэсы ў клетцы, якія прыводзяць да ўтварэння радыетаксінаў (таксічныя бялковыя рэчывы). Радыетаксіны ў сваю чаргу яшчэ болей пашкоджваюць

клетку, аж да яе гібелі, а таксама атручваюць арганізм і парушаюць функцыі асобных органаў і тканак. У хваравіты працэс уцягваецца ўвесь арганізм. Назіраецца заглушэнне клетачнага росту і рэгенерацыі тканак, парушаецца функцыя органаў кроваўтварэння, стрававальнага тракта, нервовай і сардэчна-сасудзістай сістэм, эндакрынных органаў, эпітэліяльнага покрыва, прыгнятаецца імунітэт. Біялагічныя змяненні могуць адбывацца як праз некалькі секунд пасля апраменьвання, так і праз шмат гадзін, дзён і нават дзесяцігоддзяў і выклікаць парушэнне жыццядзейнасці асобных сістэм і арганізма ў цэлым.

Чым больш актаў іанізацыі адбываецца пад уздзеяннем выпраменьвання ў арганізме, тым больш і біялагічных пашкоджанняў. Таму біялагічнае дзеянне выпраменьвання залежыць ад колькасці створаных пар іонаў або ад звязанай з гэтай колькасцю велічыні — паглынутай энергіі.

У апрамененым арганізме сур'ёзныя пашкоджанні адных тканак і сістэм непазбежна выклікаюць адпаведныя ўзаемазвязаныя змяненні ў іншых. Напрыклад, устаноўлена апасродкаванае дзеянне іанізуючага выпраменьвання на кроваўтварэнне. Адным з распаўсюджаных спосабаў выяўлення апасродкаваных эфектаў іанізуючых выпраменьванняў з'яўляецца лакальнае апраменьванне якой-небудзь вобласці цела з паступовым параўнальным назіраннем за станам сістэмы кроваўтварэння ў апрамененым і экранаваным участках. На розных відах жывёл эксперыментальна ўстаноўлена, што пагібель і знікненне клетак касцявога мозгу адзначаецца не толькі ў апрамененых, але і ў экранаваных зонах. Таму заўсёды трэба памятаць аб апасродкаваных эфектах апраменьвання і іх ролі ў выніку паражэння арганізма.

Важнае значэнне мае здольнасць клетак і тканак процістаяць уздзеянню іанізуючага выпраменьвання. У адказ на ўзнікненне ў арганізме радыяцыйных пашкоджанняў у работу ўключаюцца механізмы аднаўлення (рэпарацыі), якія пры нязначных парушэннях могуць поўнасцю іх ліквідаваць, папярэдзіўшы такім чынам паталагічную рэакцыю, абумоўленую радыяцыйным паражэннем арганізма. Калі ж пашкоджанні значныя, а абараняльная здольнасць аднаўленчых механізмаў недастатковая для іх ліквідацыі і аднаўлення нармальнага функцыяніравання парушаных сістэм, канечны рэзультат можа выявіцца ў развіцці прамянёвага апраменьвання.

Разгледзім адчувальнасць арганізма да дзеяння радыяцыі. Працяглыя эксперыментальныя даследаванні і назіранні дазволілі выявіць, што радыеадчувальнасць розных біялагічных аб'ектаў да ўздзеяння радыяцыі неаднолькавая. Напрыклад, пры дозе апраменьвання

вання 350 Р гіне 10 % пацукоў, тады як астатнія выжываюць. У сувязі з выяўленымі адрозненнямі індывідуальнай адчувальнасці да радыяцыі для характарыстыкі адноснай адчувальнасці абралі велічыню так званай п а ў л е т а л ь н а й дозы, якая выклікае гібель 50 % апраменених жывёл за месячны тэрмін назірання. У табл. 5 прыведзены дозы γ-выпраменьвання, якія выклікаюць 50 % смяротнасці розных біялагічных аб'ектаў (ад найпрасцейшых да млекакормячых) і характарызуюць відавую адчувальнасць да радыяцыйнага ўздзеяння.

Табл. 5. **Дозы γ-выпраменьвання, якія выклікаюць 50 % пагібель розных біялагічных аб'ектаў**

Біялагічны аб'ект	Доза γ-выпраменьвання, Гр	Біялагічны аб'ект	Доза γ-выпраменьвання, Гр
Малпа	2,5 — 6	Жаба	7
Сабака	2,3 — 3	Насякомыя	10 — 100
Пацук	7 — 9	Змяя	80 — 200
Трус	9 — 10	Дрожджы	300 — 500
Птушка, рыба	8 — 20	Расліны	10 — 150
Свіння	2,75	Найпрасцейшыя	1000 — 3000
Марская свінка	2 — 4		

Ёсць таксама істотнае адрозненне ў адчувальнасці да ўздзеяння радыяцыі асобных органаў і тканак. Найбольшай радыеадчувальнасцю валодаюць чырвоны касцявы мозг, яечкі, яечнікі.

Апраменены касцявы мозг губляе здольнасць нармальнага функцыяніравання ўжо пры дозах апраменьвання 0,5 — 1 Гр. Аднак ён таксама мае здольнасць да рэгенерацыі. І калі доза апраменьвання пашкодзіць не ўсе клеткі, крывятворная сістэма можа поўнасцю ўзнавіць свае функцыі. З аднаразовага апраменьвання яечак пры дозе ўсяго толькі 0,1 Гр вынікае часовая стэрыльнасць мужчыны, а пры дозе больш за 2 Гр — поўная. Яечнікі болей чуллівыя да дзеяння радыяцыі, але ўсё ж дозы больш за 3 Гр робяць жанчыну няздольнай да дзетараджэння.

Калі разглядаць іншыя органы і тканкі ў парадку змяншэння іх адчувальнасці да дзеяння радыяцыі, то атрымаем наступную паслядоўнасць: стрававальны тракт, печань, органы дыхання, залозы ўнутранай сакрэцыі (гіпофіз, шчытападобная залоза і інш.), органы выдзялення, мышачная і нервовая тканкі. Скурнае покрыва і касцявая тканка лічацца найбольш трывалымі да дзеяння радыяцыі. Сярод органаў стрававання найбольш уразлівай з'яўляецца тонкая кішка, найменш — печань. Некаторыя тканкі дарослага чалавека

маюць адносна малую адчувальнасць да дзеяння іанізуючага выпраменьвання. Ныркі вытрымліваюць сумарную дозу каля 23 Гр, атрыманую на працягу пяці тыдняў, мачавы пузыр — 55 Гр, храстковая тканка — да 70 Гр за месяц.

Такім чынам, радыеактыўныя выпраменьванні з'яўляюцца тымі дэструктыўнымі фактарамі, пры дзеянні якіх узнікаюць складаныя біялагічныя змяненні ў арганізме. Гэтыя змяненні прыводзяць да прамянёвай хваробы.

КЛАСІФІКАЦЫЯ ПРАМЯНЁВЫХ ПАШКОДЖАННЯЎ

Змяненні, якія выклікае ў арганізме чалавека ўздзеянне іанізуючага выпраменьвання, можна класіфікаваць наступным чынам: 1) вострая прамянёвая хвароба (ВПХ); 2) хранічная прамянёвая хвароба (ХПХ); 3) мясцовыя прамянёвыя пашкоджанні асобных органаў або тканак; 4) прамянёвыя пашкоджанні, якія выклікаюцца інкарпараванымі радыеактыўнымі рэчывамі (г. зн. тымі радыеактыўнымі рэчывамі, якія ўваходзяць у склад тканак жывых арганізмаў); 5) камбінаваныя прамянёвыя пашкоджанні.

Па характары развіцця прамянёвая хвароба можа быць вострай або хранічнай. Для ВПХ характэрна наяўнасць сувязі паміж узроўнем апраменьвання і рэакцыяй арганізма. Прычым ВПХ выяўляецца пасля перавышэння пэўнай дозы апраменьвання, ХПХ — пры працяглым апраменьванні адносна малымі дозамі іанізуючага выпраменьвання (больш падрабязна ВПХ і ХПХ разгледзім пазней).

Мясцовыя прамянёвыя пашкоджанні ўзнікаюць пры пераважным апраменьванні асобных участкаў скуры або органаў, Так, пры аднаразовым апраменьванні вока чалавека дозай каля 5 Гр (500 рад) можа развіцца прамянёвая катаракта хрусталіка. Хрусталік — найбольш адчувальная да радыяцыі частка вока; загінуўшыя клеткі робяцца празрыстымі, а пакаламучаныя ўчасткі выклікаюць спачатку катаракту, а потым і поўную слепату. Чым болей доза апраменьвання, тым больш страта зроку. Пакаламучаныя ўчасткі могуць утварацца пры дозах да 2 Гр. Да ліку мясцовых прамянёвых пашкоджанняў належаць і розныя захворванні скуры (прамянёвы дэрматыт, апёк). Ступень выяўлення такіх пашкоджанняў розная: ад нязначнага пачырванення да цяжкіх атрафічных змяненняў і адмірання. У некаторых выпадках вострая форма мясцовага прамянёвага пашкоджання пераходзіць у рак скуры. Да мясцовых пашкоджанняў належаць таксама выпаданне валасоў (эпіляцыя), стэрылізацыя і інш.

Павялічаная небяспека радыенуклідаў, якія трапілі ўнутр арганізма, звязана са здольнасцю некаторых з іх селектыўна збірацца ў асобных, так званых крытычных органах (гл. главу 6). Пры гэтым радыенукліды больш канцэнтравана перадаюць энергію адносна невялікаму аб'ёму тканак. Напрыклад, 30 % ёду размяшчаецца ў шчытападобнай залозе, якая складае толькі 0,03 % масы цела, і радыеактыўны ёд разбуральна дзейнічае на яе клетачныя структуры. Радыеактыўны стронцый, трапіўшы ў арганізм чалавека, не вылучаецца з яго, а застаецца ў касцях шкілета і паступова разбурае касцявы мозг — орган кроваўтварэння. Вынікам гэтага з'яўляецца смяротная хвароба — лейкоз. Іншыя ж радыенукліды (цэрый, лантан, праметый) пераважна затрымліваюцца ў печані і пашкоджваюць увесь арганізм.

Інакш кажучы, існуюць тры асноўныя тыпы размеркавання радыенуклідаў у арганізме: шкілетны, рэтыкулаэндатэліяльны і дыфузны. Шкілетны тып характэрны для кальцыю, стронцыю, барыю, радыю, а таксама для некаторых злучэнняў плутонію і торыю. Рэтыкулаэндатэліяльнае размеркаванне ўласціва цэрыю, праметыю, а таксама цынку, торыю, амерыцыю і трансуранавым элементам. Па дыфузным тыпе размяркоўваюцца калій, натрый, цэзій, рубідый, а таксама нукліды вадароду, азоту, вугляроду, палонію і некаторых іншых элементаў.

Калі ж ВПХ спалучаецца з траўмамі (перапом косці, вывіх сустава і інш.), апёкамі і гэтак далей, тады кажуць аб камбінаваных пашкоджаннях.

ВОСТРАЯ ПРАМЯНЁВАЯ ХВАРОБА

Вострая прамянёвая хвароба (ВПХ) — гэта агульнае захворванне арганізма, якое выклікаецца аднаразовым або паўторным на працягу невялікага прамежку часу (ад некалькіх секунд да 4 сутак) апраменьваннем усяго цела ці значнай яго часткі γ-прамянямі або патокам нейтронаў звыш 1 Гр (100 рад). ВПХ можа мець месца і ў ваенны час ва ўмовах ужывання ядзернай зброі, і ў мірны час. У мірны час ВПХ можа быць вынікам парушэння правіл эксплуатацыі прылад для атрымання і перапрацоўкі радыеактыўных матэрыялаў і пры аварыях на ядзерных рэактарах.

У залежнасці ад дозы апраменьвання адрозніваюць чатыры ступені ВПХ: лёгкую, сярэдняй цяжкасці, цяжкую і вельмі цяжкую. Лёгкая ступень ВПХ узнікае пры ўздзеянні радыяцыі дозай 1 — 2 Гр (100 — 200 рад); сярэдняй цяжкасці — 2 — 4 Гр (200 — 400 рад); цяжкая — 4 — 6 Гр (400 — 600 рад); вельмі цяжкая — 6 Гр і больш (600 рад і болей).

4 Зак. 5304

Ступень цяжкасці ВПХ залежыць ад наступных фактараў: 1) дозы апраменьвання; 2) працягласці апраменьвання; 3) плошчы апраменьвання і яе лакалізацыі; 4) узросту асоб апраменьвання (дзеці і старыя больш адчувальныя да дзеяння радыяцыі); 5) стану здароўя чалавека ў момант апраменьвання (аслабленыя галаданнем або хваробай, а таксама цяжарныя жанчыны маюць павялічаную адчувальнасць да радыяцыі).

ВПХ — цыклічнае захворванне, для якога характэрны чатыры перыяды: першы — пачатковая агульная рэакцыя на апраменьванне; другі — утоены, або ўяўная нармальнасць; трэці — разгар хваробы, або выяўленыя клінічныя праявы; чацвёрты — папраўка або канец хваробы.

Кожная ступень ВПХ мае чатыры перыяды. Разгледзім клінічную карціну пры кожнай ступені па перыядах захворвання.

ВПХ I ступені (лёгкая). У *першым перыядзе* пры апраменьванні арганізма дозай менш за 2 Гр (менш за 200 рад) пацярпеўшыя ў большасці выпадкаў не выказваюць ніякіх скаргаў. Пры апраменьванні ў 2 Гр (200 рад) 75 % хворых адразу або праз дзве гадзіны пасля апраменьвання скардзяцца на парушэнне апетыту, млоснасць, скажэнне смакавых адчуванняў, калі-нікалі — на аднаразовую рвоту, невялікі галаўны боль, слабасць. Назіраецца лёгкая ўзбуджанасць і раздражнёнасць. Тэмпература цела нармальная. У крыві адзначаецца нязначнае павелічэнне колькасці лейкацытаў (лейкацытоз) — да $9 \cdot 10^3$ у 1 мкл, або 9000 у 1 мм^3 (норма $6 \cdot 10^3$ – $8 \cdot 10^3$ у 1 мкл, або 6000 — 8000 у 1 мм^3). Гэты перыяд цягнецца ад некалькіх гадзін да адных сутак (калі-нікалі да 3 — 4 сутак).

У *другім перыядзе* самаадчуванне хворых хутка паляпшаецца і застаецца здавальняючым. Хворыя скардзяцца толькі на невялікую слабасць і парушэнне сну. Скаргаў можа і не быць. Мае месца некаторая няўстойлівасць артэрыяльнага ціску (АЦ) і пульсу. Аднак захворванне працягвае прагрэсіраваць. Пагаршаецца формула крыві: колькасць лейкацытаў пачынае паволі змяншацца. Гэты перыяд цягнецца да аднаго месяца.

У *трэцім перыядзе* самаадчуванне хворых пагаршаецца: павялічваецца агульная слабасць, паніжаецца апетыт, з'яўляюцца млоснасць, галаўны боль. Назіраецца кароткачасовае павелічэнне тэмпературы цела, паніжэнне АЦ; на скуры — пунктавыя кровазліцці. У крыві змяншваецца колькасць лейкацытаў (лейкапенія): $2{,}5 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^3$ у 1 мкл (2500 — 3000 у 1 мм^3). Пачынае нязначна змяншацца колькасць трамбацытаў (трамбацытапенія). Хуткасць асядання эрытрацытаў (ХАЭ) кароткачасова павялічваецца да 25 мм/гадз. Працягласць трэцяга перыяду — ад аднаго да двух тыдняў.

Чацвёрты перыяд — праз два-тры месяцы пасля апраменьвання хворы поўнасцю папраўляецца. Смяротных выпадкаў няма.

ВПХ II ступені (сярэдняй цяжкасці). *Першы перыяд* (мае месца для ўсіх хворых) пачынаецца хутка, праз адну-дзве гадзіны пасля апраменьвання. Назіраюцца агульная слабасць, галаўны боль, смага, млоснасць, паўторная рвота, калі-нікалі — панос. Тэмпература цела субфебрыльная, язык сухі. АЦ зніжаецца, пульс часты. У крыві лейкацытоз: да $10 \cdot 10^3$ лейкацытаў у 1 мкл (да 10 000 у 1 $мм^3$). Першы перыяд працягваецца да двух сутак.

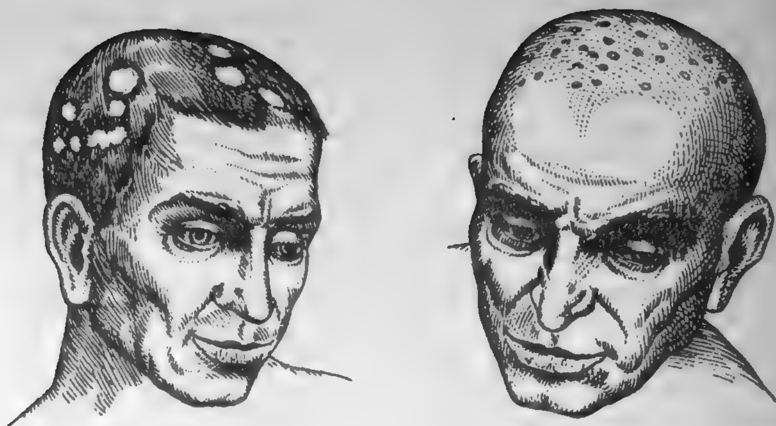
Другі перыяд характарызуецца паляпшэннем агульнага стану. Ірвота і панос спыняюцца. Тэмпература цела нармалізуецца. Адзначаюцца толькі лёгкая стомленасць, калі-нікалі — бяссонніца, кароткачасовы боль у вобласці сэрца, можа пачацца выпаданне валасоў. У крыві лейкапенія — да $1,5 \cdot 10^3$ у 1 мкл (да 1500 у 1 $мм^3$), памяркоўная трамбацытапенія. Другі перыяд працягваецца ад двух тыдняў да аднаго месяца.

Трэці перыяд характарызуецца рэзкім пагаршэннем агульнага стану. Зноў змяншаецца апетыт, паяўляюцца млоснасць, ірвота, галаўны боль, галавакружэнне; АЦ зніжаецца; пульс няўстойлівы. Назіраюцца боязь святла, павялічаная адчувальнасць да гукавых раздражняльнікаў. Тэмпература цела дасягае 38 — 39 °С, з'яўляецца разрыхленасць і крыватачывасць дзяснаў; са слізістай абалонкі страўніка і кішак, на скуры — дробныя пунктавыя кровазліцці.

Адзначаецца ачаговае выпаданне валасоў (рыс. 9, *а*), хворыя губляюць у вазе. У крыві назіраюцца выразныя змяненні: моцная лейкапенія — да $1 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 10^3$ у 1 мкл (да 1000—800 клетак у 1 $мм^3$), трамбацытапенія — $2 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^4$ у 1 мкл (20 000 — 40 000 у 1 $мм^3$) пры норме $25 \cdot 10^4 - 30 \cdot 10^4$ у 1 мкл, або 250 000— 300 000 у 1 $мм^3$. Анемія (малакроўе) звычайна не назіраецца, але калі-нікалі колькасць эрытрацытаў змяншаецца (эрытрацытапенія) да $2 \cdot 10^6 - 2,5 \cdot 10^6$ у 1 мкл, або да 2 — 2,5 млн у 1 $мм^3$ (норма $4,5 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$ у 1 мкл, або 4,5 — 5 млн у 1 $мм^3$). Могуць быць інфекцыйныя ўскладненні (сэпсіс, пнеўманія, туберкулёз і інш.). Працягласць гэтага перыяду — да двух тыдняў.

Калі доза не вельмі вялікая і своечасова прымаліся меры дапамогі і лячэння, тады можа намеціцца пералом у бок ачуньвання.

Чацвёрты перыяд працягваецца 3 — 4 месяцы. Захоўваюцца стойкія рэшткавыя з'явы: паніжэнне памяці, працаздольнасці. Без лячэння смяротнасць можа дасягаць 20 %.

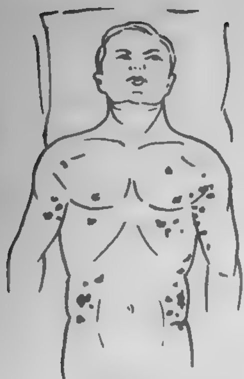


Рыс. 9. Выпаданне валасоў:
а — ачаговае; *б* — дыфузнае (множныя кровазліцці ў скуры валасістай часткі галавы)

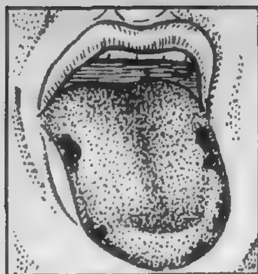
ВПХ III ступені (цяжкая). *Першы перыяд* узнікае адразу пасля апраменьвання. Ён характарызуецца моцным галаўным болем, галавакружэннем, агульнай слабасцю, шматразовай ірвотай, паносам. АЦ зніжаецца, пульс пачашчаецца, паяўляецца задышка. Нярэдка адзначаюцца паталагічныя рэфлексы (Бабінскага і інш.), бяссонніца і галюцынацыі, боязь святла. Скура твару, слізістыя абалонкі вачэй чырванеюць, павекі трохі ацёчныя. Утрымліваецца вялікая тэмпература, вага хворага змяншаецца. Працягласць першага перыяду 1 — 2 дні.

Другі перыяд (кароткі — 7 — 10 дзён) у найбольш цяжкіх выпадках адсутнічае. Назіраюцца лейкапенія, трамбацытапенія, эрытрацытапенія, дыфузнае выпаданне валасоў (рыс. 9, *б*).

Трэці перыяд праходзіць цяжка, з рэзка выражанымі з'явамі прыгнечання кроваўтварэння, з кроватачывасцю, развіццём язвава-некратычных працэсаў і інфекцыйнымі ўскладненнямі. Рэзка парушаецца дзейнасць цэнтральнай нервовай сістэмы, перыядычна назіраюцца зацямненне свядомасці, менінгеальныя сімптомы; агульны стан цяжкі. Тэмпература цела высокая (да 40 °С), хворыя нерухома ляжаць, адмаўляюцца ад ежы. Адзначаюцца млоснасць, няспынная рвота, кровазліцці на скуры (рыс. 10) і слізістых абалонках, насавыя і стрававальныя крывацёкі. Могуць назірацца і



Рыс. 10. Кровазліцці на скуры



Рыс. 11. Некроз слізістай абалонкі языка

кровазліцці ў іншыя органы (сэрца, мозг). Артэрыяльны ціск паніжаецца, пульс часты. Развіваецца прамянёвая кахексія (знясіленне).

Звычайна ВПХ III ступені суправаджаецца інфекцыйнымі ўскладненнямі: некратычнай ангінай, некратычным стаматытам і іншымі некрозамі (рыс. 11).

Колькасць лейкацытаў у крыві можа зменшыцца да 100 клетак у 1 мм^3, у некаторых выпадках яны поўнасцю знікаюць з перыферычнай крыві. Пэўны час у крыві могуць адсутнічаць і трамбацыты. Развіваецца малакроўе. У касцявым мозгу — карціна спусташэння. ХАЭ — да 60 мм/гадз. Смяротнасць у гэтым перыядзе вялікая — да 50 %. Працягласць перыяду 1 — 3 тыдні.

Чацвёрты перыяд цягнецца каля 6 — 8 месяцаў і звычайна з'яўляецца няпоўным. На працягу некалькіх гадоў могуць адзначацца парушэнні цэнтральнай нервовай сістэмы і кроваўтварэння.

ВПХ IV ступені (вельмі цяжкая). *Першы перыяд* характарызуецца раннімі праявамі (праз некалькі хвілін пасля апраменьвання), цяжкай першаснай рэакцыяй, якая суправаджаецца няспыннай ірвотай, крывавым паносам, калапсам. Тэмпература дасягае 39 °С. Моцнае пачырваненне скуры. Цягнецца 2 — 3 сутак.

Другі перыяд адсутнічае.

У *трэцім перыядзе* хутка прыгнечваецца кроваўтварэнне (панцытапенія, гэта значыць адсутнічае рост белай, чырвонай крыві і трамбацытаў). Назіраюцца масіўныя кровазліцці і крывацёкі, некрозы. Звычайна бываюць цяжкія інфекцыйныя ўскладненні: сэпсіс і інш. Можа назірацца дынамічная непраходнасць кішэчніка. Кро-

ватачывасць і інфекцыйныя ўскладненні выяўляюцца ўжо ў першыя дні. Для 100 % выпадкаў лятальнасць мае месца ўжо ў канцы першага тыдня.

Нягледзячы на такое цяжкае захворванне, своечасовыя і эфектыўныя спосабы лячэння, якімі валодае сучасная медыцына, дазваляюць выратаваць жыццё значнай часткі хворых на ВПХ.

Наколькі эфектыўнай можа быць своечасовая і ўмелая тэрапія сярэдняй і цяжкай ступені ВПХ, сведчаць два выпадкі з медыцынскай практыкі (А. Гуськова, 1971).

Мужчына 27 гадоў апраменены паблізу актыўнай зоны рэактара. Доза адносна раўнамернага γ-нейтроннага апраменьвання ўсяго цела склала 3 Зв, вобласці галавы і левай рукі — 4 — 6 Зв. Фаза захворвання — каля 20 сутак. Праз тры месяцы хворы распачаў працу (з выключэннем магчымасці апраменьвання). Назіранне за ім на працягу 10 гадоў сведчыць аб поўным узнаўленні працаздольнасці і адсутнасці істотных адхіленняў у стане здароўя. Праз 5 гадоў пасля яго апраменьвання жонка нарадзіла здаровае дзіця.

Жанчына 19 гадоў на працягу некалькіх секунд атрымала ад γ-нейтроннай крыніцы дозу 10 Зв на ўсё цела (да 12 Зв на асобныя ўчасткі цела). Суадносіны дозы γ-выпраменьвання і нейтроннай дозы былі роўныя адзінцы. Асобныя ўчасткі цела апраменены нейтронамі нераўнамерна. На 30 — 34-я суткі самаадчуванне пацярпеўшай паступова пачало паляпшацца. На 68-я суткі яе выпісалі з бальніцы для амбулаторнага назірання. Праз год хворая ўзнавіла працу па спецыяльнасці лабаранта. На трэці год пасля апраменьвання было выяўлена, што паволі прагрэсіруе прамянёвая катаракта. Працаваць змагла. Пачала вучыцца ў медыцынскім тэхнікуме і скончыла яго. Праз 9 гадоў выйшла замуж. На другім годзе замужжа нарадзіла дзіця, фізічнае і разумовае развіццё якога не мела адхіленняў. На працягу 11 гадоў самаадчуванне яе было ў большасці добрае.

Па даных А. П. Кавалёнка з сааўт. (1988), з 237 чалавек, якія захварэлі ВПХ рознай ступені цяжкасці ў сувязі з аварыяй на ЧАЭС, не здолелі вылечыць 28, якія атрымалі занадта вялікія дозы апраменьвання, несумяшчальныя з жыццём.

ХРАНІЧНАЯ ПРАМЯНЁВАЯ ХВАРОБА

Х р а н і ч н а я п р а м я н ё в а я х в а р о б а (ХПХ) — гэта захворванне ўсяго арганізма, якое развіваецца пры працяглым, часта шматразова паўторным, уздзеянні іанізуючых выпраменьванняў у адносна дробных (разавых) дозах. ХПХ развіваецца пры

сумарных дозах 0,7 — 1,0 Зв і магутнасці выпраменьвання 1 — 5 мЗв за адны суткі.

ХПХ можа ўзнікаць як у ваенны, так і ў мірны час пры невыкананні правіл тэхнікі бяспекі ва ўмовах прафесійнага апраменьвання.

Для ХПХ характэрна паступовае развіццё, працяглы ход, павольнае ўзнаўленне парушаных функцый. Звычайна захворванне развіваецца праз 2 — 3 — 5 гадоў ад пачатку прамянёвага ўздзеяння. Для прафесійнага апраменьвання гранічна дапушчальная доза — 5 рад у год. Сімптомы хваробы з'яўляюцца і прагрэсіруюць паступова. Механізм развіцця ХПХ прыблізна такі ж, як і пры ВПХ: паражаецца ўвесь арганізм, але перш за ўсё назіраецца прыгнечанне кроваўтварэння. У працэсе захворвання адрозніваюць тры ступені цяжкасці — лёгкую, сярэднюю і цяжкую.

ХПХ I ступені (лёгкая). Хворыя скардзяцца на слабасць, павялічаную стамляльнасць, галаўны боль, страту апетыту, узмоцненую патлівасць, нярэдка — на пагаршэнне памяці. Парушаецца сон: з цяжкасцю засынаюць, спяць чуйна, лёгка прачынаюцца, пасля сну адчуваюць сябе дрэнна адпачыўнымі. Характэрна пабяленне скуры або з'яўленне чырвоных плям на твары, шыі, грудзях без яўных на тое падстаў. Пульс трохі пачашчаны, невялікае паніжэнне АЦ. Схільнасць да запораў. У крыві спачатку адзначаецца павелічэнне колькасці эрытрацытаў, гемаглабіну, што тлумачыцца раздражненнем касцявога мозгу безупынным уздзеяннем апраменьвання, затым — іх змяншэнне; з боку белай крыві адзначаецца лейкапенія да $3 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^3$ у 1 мкл (да 3000—4000 у 1 мм^3).

Гэта ступень адрозніваецца хвалістасцю ходу захворвання: колькасць сімптомаў то павялічваецца, то змяншаецца, а потым зноў павялічваецца. Працаздольнасць у хворых доўгі час не парушаецца. Пасля лячэння (праз 7 — 8 тыдняў) мае месца поўнае ачуньванне.

ХПХ II ступені (сярэдняя цяжкасць). Усе сімптомы, уласцівыя першай стадыі, набываюць больш цяжкі характар. Хворыя скардзяцца на пакутлівы галаўны боль, павялічаную стамляльнасць, паяўляецца боль у вобласці сэрца, зніжаецца працаздольнасць. З боку сэрца тон глухі, пульс часты, АЦ паніжаны. Ёсць змяненні ЭКГ. У жанчын у гэтай стадыі парушаецца менструальны цыкл, у мужчын развіваецца палавая слабасць.

У хворых адзначаецца паніжэнне ўзроўню ўсіх асноўных элементаў крыві: эрытрацытаў да $2 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^6$ у 1 мкл, або да 2—3 млн у 1 мм^3; лейкацытаў да $1{,}5 \cdot 10^3 - 2{,}5 \cdot 10^3$ у 1 мкл, або 1500—2500 у 1 мм^3; трамбацытаў да $10 \cdot 10^3$ у 1 мкл, або да 100 000 у 1 мм^3; змяншаецца згушчальнасць крыві, павялічваецца прані-

кальнасць сценак капіляраў і іх крохкасць. Усё гэта абумоўлівае з'яўленне кроватачывасці (з дзяснаў, носа).

Паніжаецца супраціўляльнасць да інфекцый (грып, ангіна і інш.). Працаздольнасць хворых рэзка зніжаецца. Ім патрабуецца шматразовае стацыянарнае і санаторнае лячэнне. Часцей захворванне канчаецца няпоўным ачуньваннем.

ХПХ III ступені (цяжкая). Гэта стадыя характарызуецца цяжкім станам хворых, якім патрэбны пасцельны рэжым. Рэзка паніжаецца імунітэт, што з'яўляецца прычынай развіцця інфекцыйных захворванняў (сэпсіс і інш.). Тэмпература цела павялічваецца, узмацняецца кроватачывасць (з носа, поласці рота, кішэчніка). Рэзка прыгнятаюцца ўсе віды кроваўтварэння: назіраюцца цяжкая анемія (эрытрацытаў — менш за $1,5 - 2 \cdot 10^6$, або менш за 1,5 млн у 1 мм^3; выразная лейкапенія (менш за $1 \cdot 10^3$, або менш за 1000 у 1 мм^3); трамбацытапенія — $(20 - 50) \cdot 10^3$, або 20 — 50 тыс. у 1 мм^3. Захворванне часцей канчаецца смерцю з прычыны інфекцыйнага або гемарагічнага ўскладнення.

ДАЛЁКІЯ ВЫНІКІ ПРАМЯНЁВЫХ ПАШКОДЖАННЯЎ

Змяненні, якія адбываюцца ў арганізме пад уздзеяннем іанізуючага выпраменьвання, могуць выяўляцца ў выглядзе клінічных эфектаў, або праз адносна кароткі прамежак часу пасля пашкоджання (гадзіны, дні) — вострыя прамянёвыя пашкоджанні, або праз працяглы час (5 — 20 гадоў і больш) — так званыя далёкія вынікі. Апроч таго, пад уздзеяннем выпраменьвання ў арганізме парушаюцца генетычныя структуры, якія адказваюць за спадчыннасць, і вынікі апраменьвання могуць выявіцца ў наступных пакаленнях: нараджэнне нежыццяздольных нашчадкаў, узнікненне розных вырадлівасцей — дэфармацыя шкілета, паталогія органаў зроку, наяўнасць заечай губы, воўчай зяпы, адной канечнасці, цяжкія парушэнні функцыі галаўнога мозга (аж да яе адсутнасці) і інш.

Радыяцыйныя эфекты ўмоўна падзяляюцца на саматычныя і генетычныя (спадчынныя). Першыя выяўляюцца непасрэдна ў апрамененага, другія ў яго нашчадкаў.

Саматычныя эфекты могуць быць у выглядзе вострай або хранічнай хваробы, мясцовых прамянёвых пашкоджанняў, а таксама ў выглядзе далёкіх рэакцый арганізма на апраменьванне. Апошнія могуць развівацца як пры ўздзеянні радыяцыі на ўвесь арганізм, так і пры апраменьванні асобных абласцей цела.

Да іх належаць паніжэнне супраціўляльнасці арганізма ў дачыненні да ўзбуджальнікаў інфекцыйных захворванняў, лейкозы (рак крыві), злаякасныя пухліны розных органаў і тканак, скарачэнне працяглясці жыцця, развіццё катаракты, поўная або часовая бясплоднасць, агульнае знясіленне.

Вялікі аб'ём інфармацыі атрыманы з работ па даследаванні далёкіх вынікаў у тых асоб, якія перажылі атамную бамбардзіроўку Хірасімы і Нагасакі. Калі ў Хірасіме на 250 000 чалавек страты пасля ядзернага выбуху склалі 144 000 чалавек, а ў Нагасакі на 174 000 — 59 000 чалавек, то, па даных Сусветнай федэрацыі працаўнікоў навукі, колькасць загінуўшых з улікам дзеяння рэакцыі арганізма на апраменьванне да 1950 г. у Хірасіме дасягнула 250 000, а ў Нагасакі — 120 000 чалавек.

Пасля аварыі на Чарнобыльскай АЭС у некаторых забруджаных радыенуклідамі раёнах Магілёўскай і Гомельскай абласцей сярод дарослага насельніцтва павялічылася колькасць выпадкаў гіпертанічнай і язвавай хвароб, ішэмічнай хваробы сэрца. Назіраецца выразны рост захворванняў і сярод дзяцей. Значна павялічылася колькасць анемій і вострых лейкозаў. Маюць месца і генетычныя вынікі: нараджэнне дзяцей з прыроджанымі заганамі развіцця. Генетычныя заганы ад радыяцыі нават пры кароткачасовым уздзеянні не абмяжоўваюцца толькі першым пакаленнем, а адбіваюцца на наступных пакаленнях. Асаблівае хваляванне мясцовых органаў аховы здароўя выклікае стан шчытападобнай залозы як у дарослага насельніцтва, так і ў дзяцей, пацярпеўшых ад уздзеяння радыеактыўнага фону. Скрозь распаўсюджана гіперплазія (павелічэнне) шчытападобнай залозы*.

Пры абследаванні нашчадкаў тых, хто выжыў пасля ядзерных выбухаў у Хірасіме і Нагасакі, устаноўлены такія прыкметныя дэфекты, як змяншэнне памераў галавы, адставанне разумовага развіцця і інш. Такія змяненні ўзніклі ў Хірасіме і Нагасакі пры дозах апраменьвання ў межах 1 — 5 Гр. Але гэтыя даныя дазваляюць імаверна ацаніць неспрыяльныя далёкія вынікі толькі пры адносна вялікіх дозах апраменьвання. У той жа час для радыяцыйнай бяспекі ў першую чаргу нас цікавяць змяненні, якія назіраюцца пры дробных дозах. Сутнасць справы ў тым, што няма абсалютна бяспечных доз іанізуючага выпраменьвання. Зразумела, што чым менш доза, тым слабей дзеянне радыяцыі, але мы не ведаем таго бяспечнага парога,

---

* Гл.: Охрана здоровья населения Белоруссии в связи с аварией на Чернобыльской атомной электростанции // Здравоохранение Белоруссии. 1990. № 6.

ніжэй якога змяненні не назіраюцца. Магчыма, ён і існуе, але паколькі эксперыментальных доказаў няма, то трэба захоўваць асцярожнасць і лічыць, што нават самая мінімальная доза можа выклікаць шкоднае ўздзеянне.

Прагноз і ацэнка далёкіх вынікаў прамянёвых пашкоджанняў, звязаных з малымі дозамі апраменьвання (парадку 10^{-3}—10^{-2} Зв),— справа вельмі складаная, таму што заканамернасці ўзнікнення гэтых вынікаў істотна адрозніваюцца ад заканамернасці прамянёвых пашкоджанняў пры вялікіх дозах апраменьвання — 1 Гр і больш (100 рад і больш). У гэтай праблематыцы мае месца не непасрэднае назіранне, а тэарэтычнае абагульненне. Вось чаму атрыманая пры такой матэматычнай апрацоўцы інфармацыя мае толькі арыентыровачны характар. Апроч таго, трэба ўлічваць, што магчымасць рэалізацыі дылёкіх рэакцый арганізма на выпраменьванне ў значнай ступені звязана з індывідуальнымі асаблівасцямі арганізма, з яго адаптацыйнымі, узнаўляльнымі ўласцівасцямі і шэрагам іншых фактараў.

Міжнародныя арганізацыі па радыяцыйнай ахове прынялі палажэнне, згодна з якім імавернасць узнікнення адмоўнага эфекту, абумоўленага радыяцыяй, трэба ацэньваць як роўную 10^{-4} на 1 бэр (10^{-2} на 1 Зв). Тэарэтычна гэта азначае, што калі кожны з 10 000 чалавек на працягу аднаго года атрымлівае паглынутую эфектыўную дозу, роўную 1 бэр, то сярод гэтай групы магчымы адзін выпадак захворвання або парушэння генетычнага кода, звязаны з дадатковым апраменьваннем.

Такім чынам, пасля аварыі на Чарнобыльскай АЭС належыць вызначыць сапраўдную залежнасць паміж дозай апраменьвання, асаблівасцямі яе фарміравання і характарам рэакцый арганізма чалавека ў адказ на хранічнае ўздзеянне адносна невялікіх узроўняў радыяцыі. Толькі на падставе дозавых ацэнак можна рабіць прагноз ступені небяспекі для чалавека пэўных крыніц радыяцыі і забяспечыць правільную ацэнку катэгорыям «доза — эфект» пры вывучэнні найбліжэйшых і далёкіх вынікаў уздзеяння дробнай дозы іанізуючага выпраменьвання на канкрэтнага індывідуума.

На дадзеным этапе развіцця радыебіялогіі і радыяцыйнай медыцыны спецыялісты карыстаюцца класіфікацыяй, згодна з якой радыебіялагічныя эфекты апраменьвання жывога аб'екта падзяляюцца на парогавыя (нестахастычныя) і беспарогавыя (стахастычныя), гэта значыць выпадковыя. Калі шкодныя эфекты апраменьвання выяўляюцца пры ўздзеянні на чалавека тых доз, якія несумненна выклікаюць пашкоджанні, інакш кажучы, перавышаюць пэўнае парогавае значэнне дозы апраменьвання (напрыклад, пры аднаразовым уздзеянні радыяцыі 100 рад), то іх называюць п а р о г а в ы м і.

Эфекты вынікаў апраменьвання чалавека, імавернасць узнікнення якіх існуе пры самых мінімальных дозах апраменьвання (адсутнічае парог), лічаць беспарогавымі эфектамі.

Радыяцыйнымі эфектамі нестахастычнага характару апраменьвання чалавека перш за ўсё трэба лічыць вострую прамянёвую хваробу, а таксама мясцовыя прамянёвыя пашкоджанні скуры (апёкі), прамянёвую катаракту (памутненне хрусталіка вока), стэрылізацыю (няздольнасць да дзетараджэння), дыстрафічныя пашкоджанні розных тканак і інш.; стахастычнага — пухліны з рознымі лакалізацыямі, лейкозы, генетычныя эфекты, а таксама разумовую адсталасць і іншыя выродлівасці развіцця.

СПАДЧЫННЫЯ ЭФЕКТЫ

Спадчыннасцю называецца ўласцівасць паўтараць у шэрагу пакаленняў падобныя прыметы і забяспечваць спецыфічны характар індывідуальнага развіцця ў вызначальных умовах асяроддзя.

Перадача спадчынных уласцівасцей ажыццяўляецца ў працэсе размнажэння, якое абумоўлена дзяленнем (мітозам) клетак, аж да яго спынення, што вядзе да страты здольнасці да размнажэння.

Яшчэ ў 1906 г. французскія даследчыкі І. Берганье і Л. Трыбонда адзначылі, што дзеянне іанізуючых выпраменьванняў на клеткі праяўляецца тым больш, чым вышэй іх здольнасць да размнажэння і чым менш прадвызначаны іх марфалогія і функцыі. За некаторымі выключэннямі гэта правіла не страціла сваёй ролі і ў цяперашні час.

Вядома, што скорасць дзялення клетак на розных стадыях развіцця тканак і арганізма ў цэлым вельмі розная. З павелічэннем скорасці дзялення клетак радыеадчувальнасць пры вострым апраменьванні павышаецца.

У адпаведнасці з прапановай Берганье і Трыбонда радыеадчувальнасць клетак і тканак залежыць не толькі ад частаты дзялення клетак, але і ад ступені іх дыферэнцыяцыі. Клеткі больш адчувальныя да апраменьвання на ранніх стадыях развіцця.

Аснову будовы храмасомы састаўляе малекула ДНК, у якой закладзена спадчынная інфармацыя; апошняя абумоўлівае магчымасць развіцця пэўных уласцівасцей і прымет.

Ва ўсіх арганізмах, якія належаць да аднаго віду, набор храмасом у ядрах усіх клетак, як правіла, пастаянны. Набор храмасом — сукупнасць храмасом, заключаных у ядрах кожнай клеткі арганізма. Напрыклад, у ядры кожнай клеткі ў чалавека знаходзіцца па 46 храмасом (23 пары). Пры дзяленні клеткі храмасомы падвойваюцца і ў вызначаным парадку размяшчаюцца у даччыных клетках, што забяспечвае перадачу і захаванне ідэнтычных уласцівасцей арганізма з пакалення ў пакаленне.

Відавочна, чым большая малекула, тым большая магчымасць яе разрушэння пры ўздзеянні радыяцыі. Таму найбольш радыеадчувальным структурным кампанентам ядра клеткі з'яўляюцца храмасомы, складзеныя ■ такіх вялізных малекул, як ДНК. Дарэчы нагадаем, што ядро клеткі праяўляе высокую адчувальнасць нават да невялікіх доз радыяцыі, у той час як цытаплазма валодае параўнальна высокай устойлівасцю.

У выніку дзеяння іанізуючых выпраменьванняў у ядры клеткі адбываецца разрыў храмасом, з'яўляюцца храмасомныя аберацыі і перабудова ДНК. Разарваныя храмасомы могуць злучацца няправільна, і вельмі часта асобныя фрагменты іх проста губляюцца пры дзяленні. Гэта прыводзіць да ўтварэння даччыных клетак, не ідэнтычных з зыходнымі. У іх могуць з'явіцца такія змены ў генах храмасомнага апарату, якія перадаюцца ў спадчыну.

Элементарнымі адзінкамі спадчыннасці служаць гены-фактары, якія забяспечваюць пры пэўных умовах развіццё тых або іншых праяўленняў прымет і якія ўяўляюць сабой адрэзкі ДНК. Гены знаходзяцца ў храмасомах, дзе размешчаны ў лінейным парадку, і займаюць пэўнае месца (локус). Кожны ген адказны за сінтэз амінакіслаты. Кантралюючы іх утварэнне, гены кіруюць усімі хімічнымі рэакцыямі арганізма і вызначаюць такім чынам яго прыметы. Унікальная ўласцівасць генаў — спалучэнне іх высокай устойлівасці (нязменнасці ў шэрагу пакаленняў) са здольнасцю да спадчынных змяненняў — мутацый.

Узнікненне трывалых храмасомных аберацый у палавых клетках вядзе да мутацый, г. зн. да паяўлення ў апрамененых асоб патомства з іншымі прыметамі.

Такім чынам, спадчынныя парушэнні можна выдзеліць у два асноўныя тыпы — храмасомныя аберацыі і генныя мутацыі.

Мутацыі ў саміх генах падраздзяляюцца на дамінантныя і рэцэсіўныя. Першыя выяўляюцца адразу ў першым пакаленні, другія могуць выявіцца толькі ў тым выпадку, калі ў абодвух бацькоў мутантным з'яўляецца адзін і той жа ген. Такія мутацыі

могуць адбывацца толькі праз многія пакаленні або не выявіцца наогул.

Аднак вывучэнне спадчынных вынікаў апраменьвання натыкаецца на сур'ёзныя цяжкасці выяўлення ў наступным: а) вельмі мала вядома аб тым, якія пашкоджанні ўзнікаюць у генетычным матэрыяле чалавека пры выпраменьванні; б) поўнае выяўленне ўсіх генетычных дэфектаў адбываецца толькі на працягу многіх пакаленняў; в) спадчынныя дэфекты немагчыма адрозніць ад тых, якія ўзніклі зусім па іншых прычынах.

Устаноўлена, што каля 10 % усіх жывых нованароджаных маюць тыя або іншыя спадчынныя парушэнні, пачынаючы ад дальтанізму (частковая колерная слепата) і канчаючы такімі цяжкімі станамі здароўя, як хвароба Дауна (недаразвіццё псіхічнай дзейнасці). Згодна з існуючымі данымі, многія з эмбрыёнаў і плодаў з цяжкімі спадчыннымі дэфектамі не дажываюць да нараджэння: каля палавіны ўсіх выпадкаў самаадвольнага выкідыша звязаны з адхіленнем ад нормы ў генетычным матэрыяле. Але нават калі дзеці са спадчыннымі дэфектамі нараджаюцца жывымі, імавернасць пражыць пэўны адрэзак часу (напрыклад, год) у некалькі разоў меншая, чым для нармальных дзяцей.

Спадчынныя дэфекты адносяцца да катэгорыі стахастычных працэсаў.

Назіранні за вынікамі апраменьвання чалавека даюць вельмі мала звестак для вызначэння спадчыннай небяспекі, абумоўленай іанізуючым выпраменьваннем, асабліва пры ўздзеянні малых доз. Таму даводзіцца ацэньваць рызыку з'яўлення генетычных дэфектаў у чалавека, грунтуючыся на выніках, атрыманых у шматлікіх эксперыментах на жывёлах.

Сабраныя да гэтага часу радыебіялагічныя звесткі даюць падставу лічыць, што пры безупынным апраменьванні якой-небудзь групы людзей з нізкай ЛПЭ належыць чакаць не больш за 20 дадатковых выпадкаў спадчынных хвароб на 1 млн чалавек патомства ў першым пакаленні, калі рэалізаваная доза за пакаленне (30 гадоў) складзе 0,01 Гр (1 рад). Падваенне натуральнай лічбы спадчынных парушэнняў у нованароджаных можа назірацца пры дозе 1 Гр на папуляцыю.

У выпадку апраменьвання іанізуючым выпраменьваннем з высокай ЛПЭ (пратоны) аналагічныя эфекты будуць назірацца пры меншых паглынутых дозах.

Глава 5. ГІГІЕНІЧНАЕ ЗНАЧЭННЕ НАТУРАЛЬНАГА РАДЫЯЦЫЙНАГА ФОНУ

КРЫНІЦЫ ФОНАВАГА ВЫПРАМЕНЬВАННЯ

Ф о н а в а е в ы п р а м е н ь в а н н е — гэта сума іанізуючага выпраменьвання, якое ствараецца натуральнымі і штучнымі крыніцамі. У сваю чаргу выпраменьванне натуральных крыніц складаецца з двух кампанентаў — натуральнага і так званага тэхнагеннага фону. Першы складаецца з касмічных прамянёў і выпраменьвання тых радыеактыўных элементаў, якія сустракаюцца ў прыродзе (у горных пародах, глебе, атмасферы, будаўнічых матэрыялах, прадуктах харчавання, вадзе, у арганізме чалавека). Касмічнае выпраменьванне і выпраменьванне зямных радыенуклідаў — гэта асноўныя кампаненты фонавага выпраменьвання, г. зн. такога ўзроўню радыяцыі, да якога раслінныя і жывыя арганізмы адаптаваныя.

Чалавек апраменьваецца натуральнай радыяцыяй двума спосабамі — звонку і ўнутры. У першым выпадку радыеактыўныя рэчывы знаходзяцца па-за арганізмам, а ў другім радыенукліды разам з паветрам, вадой і ядой трапляюць у арганізм і ўздзейнічаюць на яго органы і тканкі.

Усе жывыя істоты, якія насяляюць нашу планету, на працягу жыцця безупынна ўспрымаюць уздзеянне розных натуральных крыніц іанізуючага выпраменьвання, але аб існаванні іх раней нічога не ведалі. Лічаць, што на пэўных пачатковых стадыях развіцця Зямлі натуральны радыяцыйны фон быў у шмат разоў большы, чым цяпер. Аднак на працягу апошніх некалькіх стагоддзяў яго інтэнсіўнасць застаецца адносна нязменнай, як відаць, без шкодных вынікаў для чалавека.

КАСМІЧНЫЯ ПРАМЯНІ

Касмічныя прамяні — гэта фонавае іанізуючае выпраменьванне. Яно складаецца з першаснага выпраменьвання, якое трапляе ў зямную атмасферу з міжзоркавай прасторы, і другаснага, якое ствараецца пры ўзаемадзеянні часцінак першаснага выпраменьвання з атмасферай.

Касмічнае выпраменьванне мае тры крыніцы: 1) галактычнае, якое спадарожнічае выкіданню і выпарванню матэрыі пры зоркавых выбухах і ўтварэнні звышновых зорак; 2) сонечнае, абумоўленае

ўспышкамі на Сонцы, што адбываюцца з характэрным 11-гадовым цыклам; 3) выпраменьванне зараджаных часцінак, захопленых магнітным полем Зямлі. Гэтыя часцінкі ствараюць так званыя радыяцыйныя паясы Зямлі, г. зн. слаі, якія цыркулююць вакол Зямлі. Сярэдні «век» галактычнага касмічнага выпраменьвання роўны дзесяткам і сотням мільёнаў гадоў; яно з'яўляецца патокам часцінак са звышвялікімі энергіямі. Энергія часцінак сонечнага касмічнага выпраменьвання значна меншая, і таму прыкметнага павелічэння дозы выпраменьвання на паверхні Зямлі з гэтае прычыны не адбываецца.

Першаснае касмічнае выпраменьванне складаецца ў асноўным з пратонаў (каля 92 %) і α-часцінак (6 %), гэта значыць з ядзер атамаў вадароду і гелію, якія рухаюцца з хуткасцю, блізкай да хуткасці святла ў вакууме; 2 % прыпадае на ядры хімічных элементаў ад літыю да ўрану.

У склад другаснага касмічнага выпраменьвання ўваходзяць амаль усе вядомыя ў наш час элементарныя часцінкі. Яго інтэнсіўнасць залежыць ад вышыні над узроўнем мора. На ўзроўні мора інтэнсіўнасць мінімальная. З павелічэннем вышыні яна павялічваецца і дасягае максімуму на адлегласці 20 — 25 км. На вышыні прыблізна 45 км пераважае першаснае касмічнае выпраменьванне. У атмасферы ствараюцца таксама розныя касмагенныя радыенукліды: трытый, радыеактыўны вуглярод-14 і інш. (усяго 14).

Няма такіх месцаў на Зямлі, куды б не трапілі касмічныя прамяні. Але на адных участках зямной паверхні ўзровень радыяцыі большы, чым на другіх. Гэта залежыць ад сонечнай актыўнасці, геаграфічнай шыраты і вышыні над узроўнем мора. У перыяды найбольшай сонечнай актыўнасці, звязанай з успышкамі на Сонцы, узровень касмічнай радыяцыі большы. Інтэнсіўнасць касмічных прамянёў у залежнасці ад геаграфічнай шыраты павялічваецца ад экватара да полюсаў. Гэта вынікае з таго, што Зямля падобна велізарнаму магніту. Таму касмічныя прамяні, якія з'яўляюцца зараджанымі часцінкамі, адхіляюцца над экватарам і збіраюцца каля полюсаў Зямлі. Людзі, якія жывуць на прыэкватарнай тэрыторыі на ўзроўні мора, атрымліваюць найменшую дозу радыяцыі, прыблізна 0,35 мЗв у год.

Гарады, у якіх пражывае асноўная частка насельніцтва, займаюць тэрыторыю амаль пасярэдзіне паміж экватарам і полюсамі. Каля экватара няма вялікіх гарадоў, як няма іх і паблізу ад полюсаў. Таму сярэдняя магутнасць дозы касмічнага апраменьвання насельніцтва — каля 0,5 мЗв у год. Такую дозу атрымліваюць, напрыклад, людзі на шыраце каля 50° (жыхары Нью-Йорка, Лондана, Масквы, Токіо).

Вышыня над узроўнем мора мае нават больш істотнае значэнне, чым геаграфічная шырата. Жыхары высакагорнага горада ЗША

Дэнвера атрымліваюць дозу радыяцыі, прыблізна роўную 0,9 мЗв у год. На заселеных тэрыторыях, якія размяшчаюцца на вышыні, блізкай да 4500 м, доза касмічнага апраменьвання павялічваецца да 3 мЗв у год, а на гары Эверэст — найвышэйшым пункце Зямлі (8848 м) — яна дасягае 8 м/Зв у год. Яшчэ больш інтэнсіўнае апраменьванне атрымліваюць экіпажы і пасажыры самалётаў. Пры падыманні з вышыні 4000 м на вышыню 12 000 доза апраменьвання павялічваецца за кошт касмічных прамянёў прыблізна ў 25 разоў. Пры далейшым пад'ёме яна працягвае павялічвацца і на вышыні 20 000 м дасягае 13 мкЗв за 1 гадзіну (табл. 6). На шляху з Нью-Йорка ў Парыж пасажыр звычайнага турбарэактыўнага самалёта атрымлівае дозу 50 мкЗв, а пасажыр звышгукавога самалёта, хоць і знаходзіцца пад уздзеяннем больш магутнага выпраменьвання, атрымлівае дозу на 20 % меншую (у сувязі са значным скарачэннем часу палёту).

Табл. 6. **Магутнасць паглынутай і эквівалентнай доз касмічнага выпраменьвання ў залежнасці ад вышыні над узроўнем мора**

Вышыня, км	Магутнасць паглынутай дозы, мкГр/гадз	Магутнасць эквівалентнай дозы, мкЗв/гадз	Сярэднегадавая доза, мЗв
0 (узровень мора)	0,32	0,035	0,3
4	0,14	0,2	1,75
8848 (Эверэст)	0,84	1,0	8,0
12	3,01	5,0	—
20	8,72	13,0	—

Дазіметрычныя прылады паказалі, што паглынутая доза радыяцыі, атрыманая касманаўтамі П. І. Бяляевым, В. Ф. Быкоўскім, Б.Б. Ягоравым, У. М. Камаровым, А. А. Ляоновым, А. Г. Мікалаевым, П. Р. Паповічам, В. У. Церашковай, К. П. Феактыставым, у залежнасці ад працягласці касмічнага палёту (25 — 119 гадзін) змянялася ў межах 14 — 95 мрад.

ЗЯМНАЯ РАДЫЯЦЫЯ І РАДОН

Як адзначалася вышэй, другой крыніцай натуральнага радыяцыйнага фону з'яўляюцца радыенукліды зямнога паходжання. Яны падзяляюцца на дзве групы: радыенукліды, якія ўваходзяць у радыеактыўнае сямейства, і тыя, якія ў яго не ўваходзяць. Першая група ўтрымлівае 82 радыенукліды з уранарадыевых і торыевых

сямействаў (радоў), другая ўтрымлівае 11 радыенуклідаў (калій-40, рубідый-87 і інш.), якія належаць да элементаў сярэдняй часткі Перыядычнай сістэмы элементаў. Іх перыяды паўраспаду вымяраюцца мільёнамі гадоў. Роданачальнікам уранарадыевага сямейства з'яўляецца радыенуклід урану-238, а торыевага — торый-232. Гэтыя элементы ўваходзілі ў склад Зямлі з самага пачатку яе існавання.

Доза вонкавага γ-выпраменьвання ў асноўным складаецца з выпраменьвання калію-40 і радыенуклідаў уранарадыевых (свінец-214, вісмут-214) і торыевых (торый-228, актыній-228) сямействаў, якія знаходзяцца ў верхнім 30-сантыметровым слоі глебы.

Колькасць радыенуклідаў у адвольным прыродным рэчыве невялікая. Але калі разглядаць велізарную масу Зямлі ў цэлым, то лічбы ўражваюць, напрыклад агульная колькасць зямнога радыю* складае дзесьці 100 млн т.

Зразумела, што дозы выпраменьвання на паверхні Зямлі ў розных месцах неаднолькавыя і залежаць ад колькасці радыенуклідаў на тым ці іншым участку глебы. Звычайна прыродныя радыенукліды канцэнтруюцца ў гранітных пародах гор. Радыеактыўнасць вапняковых і пясчаных парод нязначная. Так, урану ў гранітах у 2 — 3 разы, а торыю ў 3 — 10 разоў больш, чым у вапняках і пясчаніках. Севастопаль пабудаваны з вапняковых парод і з гэтае прычыны мае невялікі радыяцыйны фон — 0,3 — 0,6 мЗв/год.

Пры абмеркаванні ўласцівасцей радыяцыйнага фону Зямлі трэба ўлічваць усю сукупнасць яго кампанентаў: 1) касмічнае выпраменьванне; 2) натуральныя радыенукліды, якія ўтрымліваюцца ў навакольным асяроддзі, і 3) натуральныя радыенукліды, якія ўтрымліваюцца ў целе чалавека. Тыповае сярэдняе значэнне агульнай эквівалентнай дозы, атрыманай чалавекам у цэлым ад усіх гэтых натуральных крыніц радыяцыі, складае 2,0 мЗв (200 мбэр) у год.

У асобных раёнах зямнога шара магутнасць дозы натуральнага радыяцыйнага фону значна перавышае сярэдняе значэнне. Тэрыторыі з апраменьваннем 2,5 — 5 мЗв у год ёсць на Атлантычным узбярэжжы Бразіліі, у Францыі, Егіпце і іншых краінах. Жыхары выспы Ніуэ (у Ціхім акіяне) успрымаюць вонкавае апраменьванне з магутнасцю дозы 10 мЗв у год. У індыйскіх штатах Керала і Мадрас 100 000 людзей атрымліваюць у год дозу, у сярэднім роўную 13 мЗв. Гэта самы вялікі ў наш час узровень натуральнага радыяцыйнага фону, які дзейнічае на чалавека.

---

* Радый — радыеактыўнае рэчыва, найбольш устойлівы ізатоп — $^{226}_{88}Ra$ (T = 1600 гадоў). Серабрыста-белы, бліскучы метал. Хімічна вельмі актыўны. У прыродзе сустракаецца ва уранавых рудах. Гістарычна першы элемент, радыеактыўная ўласцівасць якога знайшла практычнае прымяненне ў медыцыне і тэхніцы.

У цэлым для былога СССР за аснову ўзроўню фонавага апраменьвання насельніцтва прымаецца сярэдняе сусветнае значэнне гадавой эфектыўнай дозы 2 мЗв. Хоць у асобных раёнах, у прыватнасці на Украіне (Жытомірская, Днепрапятроўская, Запарожская вобласці), а таксама ў курортных гарадах з вялікай колькасцю радонавых крыніц (Баржомі, Міронаўка, Хмельнік), магутнасць гэтай дозы перавышае сярэднесусветнае значэнне.

Для ацэнкі дозы апраменьвання, рэальна атрыманай насельніцтвам у дадзенай мясцовасці, неабходна ажыццявіць серыю вымярэнняў звонку і ўнутры памяшкання, паколькі большасць людзей значную частку свайго жыцця знаходзіцца ўнутры жылля. Калі чалавек знаходзіцца ў цагельным доме, то доза вонкавага апраменьвання змяняецца пад уплывам двух процілеглых фактараў: сцены з'яўляюцца аховай ад вонкавага выпраменьвання і адначасова крыніцай дадатковага апраменьвання. Даследаванні паказалі, што магутнасць паглынутай дозы ўнутры памяшкання на першым паверсе драўлянага дома складае каля 75 % магутнасці дозы па-за памяшканнем. На другім паверсе магутнасць дозы змяншаецца прыблізна на 10 — 20 % і застаецца аднолькавай на ўсіх верхніх паверхах. Гэта сведчыць аб тым, што вонкавае выпраменьванне практычна поўнасцю паглынаецца сценамі дадзенага будынка.

Магутнасць дозы ўнутры жылля залежыць у асноўным ад выпраменьвання радыеактыўных рэчываў тых матэрыялаў, з якіх пабудавана жыллё. Сярэдняя магутнасць дозы ў цагляных, мураваных і бетонных дамах у 2 — 3 разы большая, чым у драўляных, дзе яна звычайна складае $(4 - 5) \cdot 10^{-8}$ Гр/гадз. Такім чынам, гарадское насельніцтва ў параўнанні з сельскім атрымлівае трохі павялічаную дозу апраменьвання.

З усіх натуральных крыніц радыяцыі найбольшую частку дозы апраменьвання забяспечвае нябачны, без паху і смаку, цяжкі (у 7,5 разоў больш цяжкі за паветра) газ радон. У прыродзе ён сустракаецца ў выглядзе радону-222, які ўзнікае пры распадзе урану-238 і радону-220 — члена радыеактыўнага рада торыю-232. Агульнае ўтрыманне радону-220 у атмасферы значна меншае, чым радону-222. Аднак для зручнасці абодва ізатопы ў далейшым будзем разглядаць разам і называць проста радонам.

Радон у асноўным вылучаецца з глебы, але яго канцэнтрацыя ў паветры ў розных рэгіёнах планеты неаднолькавая. Напрыклад, у Францыі яна складае 9,3 Бк/м^3, у Вялікабрытаніі — 3, Японіі — 2,1, на Філіпінах — 0,3 (пры сярэднім значэнні ўтрымання радону ў паветры каля 2 Бк/м^3).

Асноўную дозу апраменьвання ад радону чалавек атрымлівае пры ўдыханні паветра, калі ён знаходзіцца ў зачыненым неправетраным памяшканні.

Доза апраменьвання істотна залежыць ад утрымання урану і торыю ў навакольным асяроддзі і ад матэрыялу, з якога пабудавана жыллё чалавека. У сучасных будаўнічых матэрыялах на тэрыторыях былога СССР сярэдняя радыеактыўнасць урану і торыю складае каля 50 Бк/кг (для параўнання ў драўніне — прыблізна 0,4 Бк/кг). Сярэдняя ўдзельная радыеактыўнасць будаўнічых матэрыялаў (Бк радыю і торыю на 1 кг матэрыялу) у розных пунктах зямнога шара: драўніны (Фінляндыя) — 1,1, цэглы (ФРГ) — 126, граніту (Вялікабрытанія) — 170, гліназёму (Швецыя, 1974—1975) — 1367, кальцый-сілікатны шлак (ЗША) — 2140. У зонах з памяркоўным кліматам канцэнтрацыя радону ў зачыненых памяшканнях у сярэднім прыблізна ў 8 разоў большая, чым у паветры. Радон пранікае ў памяшканне праз фундамент і падлогу з грунту, а таксама з будаўнічага матэрыялу. Пры гэтым радон збіраецца ўнутры памяшкання толькі тады, калі яно дастаткова ізалявана ад вонкавага асяроддзя. У гэтым выпадку ў памяшканні могуць узнікаць надзвычай вялікія канцэнтрацыі радону. Пры добрай ізаляцыі сцен і падлогі дома канцэнтрацыя радону павінна зменшыцца. Але, з другога боку, такая герметызацыя перашкаджае выхаду радыеактыўных рэчываў з памяшкання.

Радон можа пранікаць у жылыя дамы разам з прыродным газам і вадой. Канцэнтрацыя радону ў звычайнай вадзе вельмі нязначная, але вада ў глыбокіх студнях і артэзіянскіх свідравінах утрымлівае значную колькасць яго. Тут маем сярэднія канцэнтрацыі адпаведна 1200 і 1400 кБк/м^3. Максімальная ўдзельная радыеактыўнасць вады, якая выкарыстоўваецца ў сістэмах водазабеспячэння, складае 100 млн Бк/м^3, а мінімальная роўна нулю. Па ацэнках НКДАР (Навуковы камітэт па дзеянню атамнай радыяцыі) сярод усяго насельніцтва Зямлі менш чым 1 % жыхароў п'юць ваду з удзельнай радыеактыўнасцю больш за 1 млн Бк/м^3 і каля 10 % — з канцэнтрацыяй радону 100 000 Бк/м^3. Характэрна, што пры кіпячэнні вады або гатаванні гарачых страў радон у асноўным знікае. У арганізм чалавека ён пранікае праз некіпячоную ваду.

Значна большая небяспека мае месца тады, калі ў лёгкія трапляе вадзяная пара з паветра з вялікім утрыманнем радону і яго даччыных прадуктаў, што часцей за ўсё адбываецца ў ваннай. Выяўлена, што сярэдняя канцэнтрацыя радону ў ваннай прыблізна ў 3 разы большая, чым на кухні, і ў 40 — чым у жылых пакоях. Эквівалентная доза (ЭД) радону і яго даччыных прадуктаў складае ў сярэднім каля 1 мЗв/год.

УНУТРАНАЕ АПРАМЕНЬВАННЕ

Радыеактыўныя рэчывы, якія ўтрымліваюцца ў вонкавым асяроддзі, трапляюць у арганізм чалавека разам з паветрам, ежай і вадой. З трох шляхоў пераходу радыенуклідаў у арганізм (праз органы дыхання, стрававальны тракт або непасрэдна ў кроў праз пашкоджаную скуру) найбольш небяспечным з'яўляецца ўдыханне забруджанага паветра. Гэта звязана з тым, што чалавек за працоўны дзень спажывае вялікую (20 $м^3$) колькасць паветра і, апроч таго, радыенукліды пры такім перамяшчэнні вельмі хутка засвойваюцца. Эксперыментальныя доследы на жывёлах паказалі, што ўжо праз некалькі хвілін пасля пераходу радыеактыўных рэчываў у арганізм яны выяўляюцца ў крыві.

У сярэднім прыблізна 2/3 ЭД апраменьвання чалавек атрымлівае ад прыродных крыніц радыяцыі. Зусім нязначная частка гэтай дозы звязана з касмагеннымі радыенуклідамі тыпу трытыю, берылію-7, вугляроду-14 і натрыю-22. Доза ўнутранага апраменьвання ад вугляроду-14 у 60 разоў большая, чым доза ад натрыю-22, і ў 1200 разоў — чым доза ад трытыю. Астатнія крыніцы апраменьвання — зямнога паходжання. Сярод іх прыметны ўклад у ЭД уносяць калій-40 і рубідый-87. Значна большую дозу ўнутранага апраменьвання чалавек атрымлівае ад нуклідаў урану-238 і торыю-232 — роданачальнікаў сямействаў (радоў), кожны з якіх складаецца больш чым з 10 радыенуклідаў. Некаторыя з іх (свінец-210 і паланій-210) трапляюць у арганізм праз стрававальны тракт пры ўжыванні ў ежу рыбы і малюскаў, у якіх гэтыя ізатопы канцэнтруюцца. Таму людзі, якія спажываюць шмат такой рыбы і марскіх прадуктаў, могуць атрымаць даволі вялікія дозы апраменьвання.

Даволі вялікую канцэнтрацыю нуклідаў свінцу-210 і паланію-210 утрымлівае і мяса паўночнага аленя (карыбу), якое з'яўляецца асноўным прадуктам харчавання дзесяткаў тысяч жыхароў Крайняй Поўначы. Абодва ізатопы знаходзяцца ў лішайніках і трапляюць у арганізм аленяў, калі яны харчуюцца імі. У людзей, якія спажываюць у ежу мяса паўночнага аленя, дозы ўнутранага апраменьвання ў 35 разоў перавышаюць сярэдні ўзровень. Жыхары Заходняй Аўстраліі ў месцах павялічанай канцэнтрацыі урану атрымліваюць дозы апраменьвання ў 75 разоў большыя за сярэдні ўзровень, паколькі спажываюць мяса і вантробы авечак і кенгуру, арганізм якіх утрымлівае павялічаную колькасць радыенуклідаў.

Прыметную ролю ў апраменьванні чалавека адыгрываюць радый-226 і радый-228, якія трапляюць у арганізм разам з ежай. Звязаная з імі гадавая ЭД дасягае 20 мкЗв, прычым уклад у дозу радыю-226 і радыю-228 і іх прадуктаў распаду складае адпаведна 7 і 13 мкЗв (табл. 7).

Табл. 7. **Сярэднегадавая ЭД (мкЗв) унутранага апраменьвання розных органаў ад некаторых натуральных радыенуклідаў**

Радыенуклід	Чырвоны касцявы мозг	Лёгкія	Касцявая тканка	Ганады	Сярэднегадавая ЭД, мкЗв
Калій-40	270	180	140	180	180
Рубідый-87	7,0	4,5	14	10	6
Палоній-210	5,1	2,7	36	5,4	130
Радый-226	0,2	0,07	2,2	0,07	7
Радый-228	0,11	0,12	0,87	0,03	13
Радон	0,8	730 — 9300	0,9	0,03	800 — 1000

Як ужо адзначалася, радыенуклід радон — крыніца вонкавага апраменьвання. Але менавіта прадукты яго распаду з'яўляюцца асноўнымі крыніцамі апраменьвання розных участкаў органаў дыхання. Такім чынам узнікае значны ўклад і ў дозу ўнутранага апраменьвання.

Вядома, што біялагічныя вынікі ўздзеяння радыяцыі залежаць ад дозы, якая ствараецца ў розных органах і тканках. Найбольш радыеадчувальнымі сярод іх з'яўляюцца чырвоны касцявы мозг, лёгкія, касцявая тканка, а таксама ганады, якія адказваюць за генетычныя вынікі дзеяння радыяцыі.

Як сведчаць даныя табл. 7, пры сярэдняй ЭД 180 мкЗв, абумоўленай каліем-40, і 6 мкЗв — рубідыем-87, максімальная ЭД (270 мкЗв) утвараецца ў чырвоным касцявым мозгу каліем-40 і 14 мкЗв — у касцявых тканках рубідыем-87. Гадавая ЭД, звязаная з пераходам у арганізм даўгавечнага ізатопу палонію-210, складае 130 мкЗв, прычым максімальная яго доза (36 мкЗв) прыпадае на касцявыя тканкі. Курэнне садзейнічае трохразоваму павелічэнню ўтрымання ў лёгкіх палонію-210. З усіх інкарпараваных радыенуклідаў найбольшы ўклад у дозу на ўсё цела дае радон (800 — 1000 мкЗв/год). Максімальная ЭД радону (730 — 9300 мкЗв/год) збіраецца ў лёгкіх. Ваганні яго гадавой дозы тлумачацца адрозненнямі ў атмасферных і глебавых варунках, матэрыялах жылых дамоў і выкарыстанні паліва, у навакольных горных пародах, хуткасці дыхання і масе апрамененых лёгачных тканак.

Па характары размеркавання ў целе чалавека радыенукліды падзяляюцца на тры групы: першая — стронцый-90, радый-226, уран-238 і іншыя, якія збіраюцца ў шкілеце; другая — палоній-210, цэрый-144 і іншыя, якія збіраюцца ў печані, і трэцяя — вуглярод-14, цэзій-137 і іншыя, якія раўнамерна размяшчаюцца па ўсіх органах і тканках.

Асобна трэба спыніцца на радыеактыўным ёдзе-131 з перыядам паўраспаду 8 сутак (хоць пры падзеле ядзер урану ўзнікаюць і кароткачасовыя ізатопы ёду, у прыватнасці ёд-135 і ёд-133 з перыядамі паўраспаду адпаведна 7 і 20 гадзін). Асноўная крыніца пераходу ёду-131 у арганізм людзей — малако (у тых раёнах, дзе яно з'яўляецца важным кампанентам рацыёну чалавека).

Больш за 90 % ёду-131 у арганізме чалавека паглынаецца шчытападобнай залозай, на клеткі якой дзейнічае адпаведнае апраменьванне. Такім чынам узнікаюць розныя захворванні залозы, у тым ліку і пухліны (дабраякасныя і злаякасныя).

Пры ацэнцы ўнутранага апраменьвання чалавека асноўным кольkасным крытэрыем апраменьвання з'яўляецца велічыня гадавога пераходу нуклідаў у арганізм, ■ не весткі аб канцэнтрацыі радыенуклідаў у навакольным асяроддзі. Значэнні гадавой ЭД ад прыродных крыніц для людзей у раёнах з нармальным фонам адзначаюцца ў табл. 8.

Табл. 8. **Гадавая эфектыўная доза (у мЗв на аднаго чалавека) ад прыродных крыніц у раёнах з нармальным фонам**

Крыніца выпраменьвання	Апраменьванне		Усяго	Уклад у сумарную дозу, %
	вонкавае	унутранае		
Касмічнае выпраменьванне	0,301		0,301	15,05
Касмагенныя радыенукліды		0,015	0,015	0,75
Зямныя радыенукліды:				
калій-40	0,120	0,180	0,300	15
рубідый-87		0,006	0,006	0,3
сям'я урану	0,090	0,954	1,044	52,54
сям'я торыю	0,140	0,186	0,326	16,3
Усяго (акруглена)	0,650	1,340	2,0	100

З даных табл. 8 вынікае, што асноўны ўклад (85 %) у агульную ЭД забяспечваюць зямныя радыенукліды і толькі 15 % звязана з касмагенным апраменьваннем. Пры гэтым на ўнутранае апраменьванне прыпадае 1,340 мЗв з 2,0, гэта значыць 67 % паглынутай ЭД.

Атрымліваецца, што апраменьванне, абумоўленае зямнымі радыенуклідамі, значна перавышае апраменьванне ад касмагенных радыенуклідаў, а ўнутранае апраменьванне ў сваю чаргу большае за вонкавае (0,650 мЗв).

Такім чынам, сярэдняя гадавая ЭД для дарослага чалавека складае 2,0 мЗв.

ТЭХНАГЕННЫ ФОН ВЫПРАМЕНЬВАННЯ

Поруч з асноўнымі кампанентамі (касмічнае выпраменьванне і зямная радыяцыя), якія вызначаюць натуральны радыяцыйны фон, вылучаюць яшчэ так званы тэхнагенны фон выпраменьвання (ТФВ). Ён звязаны з распрацоўкай чалавекам некаторых тэхналагічных працэсаў, пры якіх адбываецца павелічэнне натуральнага радыяцыйнага фону. Прычынамі такога павелічэння з'яўляюцца, напрыклад, пераход у навакольнае асяроддзе ў вялікай колькасці натуральных радыенуклідаў пры здабычы з глыбінь зямлі карысных выкапняў (вугаль, газ, нафта), шырокае выкарыстанне будаўнічых матэрыялаў, якія ўтрымліваюць павялічаную колькасць радыенуклідаў уранавага і торыевага радоў, спальванне выкапнёвага паліва з вылучэннем такіх ізатопаў, як радый, торый, уран і іншыя, ужыванне ў сельскай гаспадарцы мінеральных угнаенняў з павялічаным утрыманнем натуральных радыенуклідаў і г. д. Відавочна, што тэхнагенны фон выпраменьвання — гэта натуральны фон выпраменьвання, які з'явіўся ў выніку дзейнасці людзей.

У працэсе такой чалавечай дзейнасці адбываецца дадатковае апраменьванне людзей ад натуральных крыніц радыяцыі, аднак у глабальных маштабах яно пакуль што нязначнае і складае прыблізна 1 % калектыўнай дозы, абумоўленай натуральным радыяцыйным фонам. Разам з тым узровень дадатковага апраменьвання насельніцтва, якое пражывае паблізу заводаў па перапрацоўцы руд, а таксама насельніцтва пры павялічаным выкарыстанні фосфагіпсу ў жыллёвым будаўніцтве, у выніку ўжывання фасфатных угнаенняў і г. д., можа значна павялічыцца і зрабіцца сувымерным з натуральным радыяцыйным фонам.

Улік гэтых фактараў дазваляе больш правільна з пункту гледжання радыяцыйнай бяспекі планаваць развіццё той ці іншай тэхналогіі, звязанай з павелічэннем прыроднага радыяцыйнага фону.

Разгледзім уклад у апраменьванне кожнай крыніцы выпраменьвання, створанай чалавекам.

Спальванне каменнага вугалю. Вугаль выкарыстоўваецца для атрымання электраэнергіі, абагравання жыллёвых і прамысловых памяшканняў. Пры яго спальванні ў паветра выкідваецца 0,1 млн т попелу, у якім утрымліваюцца прыродныя радыенукліды — калій, уран, торый, радый і інш. Канцэнтрацыя прыродных радыенуклідаў у попеле з прычыны выгарання паліва значна большая, чым у самім вугалі. Пры рассейванні ў атмасферы разам з попелам натуральныя радыенукліды з'яўляюцца крыніцай дадатковага апраменьвання насельніцтва, якое пражывае ў месцах размяшчэння ЦЭС. Радыяцыйны фон паветра паблізу ад іх заўсёды трохі павялічаны. Апроч таго, часцінкі попелу з радыенуклідамі могуць

трапіць у арганізм інгаляцыйным шляхам пры праходжанні воблака выкіду, а таксама праз стрававальны тракт пры асяданні іх на паверхні раслін.

У некаторых краінах свабодны пал збіраецца ачышчальнымі прыстасаваннямі і выкарыстоўваецца ў гаспадарцы ў асноўным як дадатак да цэменту і бетону, а таксама ў сельскай гаспадарцы для апаляпшэння структуры глеб. Усё гэта павялічвае радыяцыйнае апраменьванне. Уклад вугальных электрастанцый у дозу апраменьвання насельніцтва складае 0,02 % ад сярэдняй дозы, звязанай з натуральным фонам.

Хімічныя ўгнаенні. Другая крыніца ТФВ — прамысловае выкарыстанне прадуктаў перапрацоўкі фасфатаў. Здабыча іх вядзецца ў многіх краінах свету. Фасфаты выкарыстоўваюцца галоўным чынам для вытворчасці ўгнаенняў. Большасць пакладаў фасфатных радовішчаў звычайна ўтрымлівае прадукты распаду ўрану-238, прычым у даволі вялікай канцэнтрацыі. Пры здабычы і перапрацоўцы фосфарнай руды вылучаецца радон. У атрыманых асноўных і пабочных прадуктах і ў адыходах таксама ёсць павялічаная канцэнтрацыя радыенуклідаў. Фосфарныя ўгнаенні нашай сельскай гаспадаркі з'яўляюцца радыеактыўнымі, і звязаныя з гэтымі ўгнаеннямі радыенукліды пераходзяць з глебы ў харчовыя культуры. Яны могуць трапіць і ўнутр арганізма па ланцужках глеба — харчовыя прадукты — чалавек або глеба — расліннасць — жывёлы — чалавек. З прычыны вымывання ўгнаенняў з вадой радыеактыўнае забруджванне ў гэтым выпадку выклікае нязначнае павелічэнне дозы вонкавага апраменьвання — усяго 0,003 мГр (0,3 мрад) у год. Аднак у паветры каля сховішча ўгнаенняў паглынутая гадавая доза можа дасягаць 0,5 мГр (50 мрад).

Табл. 9. **Чаканая гадавая калектыўная доза, звязаная са спальваннем вугалю, перапрацоўкай фосфарных руд, выкарыстаннем угнаенняў у сельскай гаспадарцы і адходаў у будаўніцтве (на ўсё насельніцтва планеты)**

Род дзейнасці	Чаканая калектыўная эфектыўная доза, чал.-Зв.
Вытворчасць электраэнергіі пры спальванні вугалю	2 000
Распрацоўка фосфарнай руды (разам з яе ўзбагачэннем)	13
Выкарыстанне фасфатных угнаенняў у сельскай гаспадарцы	1 950
Выкарыстанне фосфагіпсу ў будаўніцтве	45 000
Усяго	48 963

Такім чынам, пры вытворчасці электраэнергіі і ўгнаенняў за кошт вызваленых натуральных радыенуклідаў павялічваецца канцэнтрацыя радыеактыўных рэчываў у навакольным асяроддзі і дадатковае апраменьванне чалавека ў дозах, якія прыведзены ў табл. 9.

Іншыя крыніцы апраменьвання натуральнымі радыенуклідамі (радыелюмінесцэнтныя гадзіннікі, электронныя і электрычныя прылады з утрыманнем радыеактыўных рэчываў, кераміка, шкляныя вырабы і да т. п.) з утрыманнем урану, торыю і іншых ізатопаў робяць мізэрны ўклад у дозу апраменьвання чалавека.

ШТУЧНЫЯ КРЫНІЦЫ РАДЫЯЦЫІ

Поруч з натуральнымі крыніцамі выпраменьвання істотную ролю ў фарміраванні фонавага апраменьвання адыгрываюць штучныя крыніцы. Да іх належаць выкарыстанне рэнтгенаўскіх прамянёў у медыцыне, ядзерныя выбухі, атамная энергетыка і інш.

Выкарыстанне рэнтгенаўскіх прамянёў у медыцыне. Сярод штучнага фону найбольшы ўклад у дозу апраменьвання ўносіць выпраменьванне ў медыцыне. Яно мае тры віды.

1. Выкарыстанне радыяцыі для дыягностыкі захворванняў. Напрыклад, стаматолагу патрэбны рэнтгенаўскі здымак зубной поласці. З дапамогай здымкаў можна таксама вызначыць месца пералому ў касцях, выявіць наяўнасць камянёў у нырцы або жоўцевым пузыры. Гэты метад абследавання называецца рэнтгеналагічнай дыягностыкай. Сярэдняе сусветнае значэнне індывідуальнай дозы апраменьвання ад рэнтгеналагічных працэдур ацэньваецца ў 0,4 мЗв/год, гэта значыць каля 20 % натуральнага фону пры значных ваганнях у розных краінах ад 0,03 да 6,0 мЗв/год. У былым СССР гэты паказчык складае 1,5 мЗв/год.

2. Увядзенне некаторым хворым радыеактыўных ізатопаў для даследавання розных працэсаў унутры арганізма або для выяўлення пухліны. Гэты метад называецца радыеізатопным даследаваннем.

З прычыны радыеізатопнага даследавання ў медыцыне сярэдняя гадавая індывідуальная доза апраменьвання на ўсё цела складае 5 мкЗв, за выключэннем дозы апраменьвання шчытападобнай залозы, прыблізна роўнай 1000 мкЗв.

3. Выкарыстанне радыяцыі для лячэння злаякасных пухлін называецца прамянёвай тэрыпіяй. Пры гэтым вельмі вялікія дозы атрымліваюцца асобнымі органамі пры анкалагічных захворваннях.

Апраменьванне ў медыцыне ў нашы дні складае прыблізна 51,5 % агульнай дозы апраменьвання, іншыя ж штучныя крыніцы — толькі 3 %.

Ядзерныя выбухі. Другая штучная крыніца апраменьвання — радыеактыўныя ападкі, якія ўтварыліся з прычыны ядзерных выбухаў у атмасферы. Гэтыя выбухі адбываліся з 1945 па 1980 г. Радыеактыўныя ападкі ўтрымлівалі некалькі сотняў розных радыенуклідаў, аднак яны ў асноўным мелі вельмі малую канцэнтрацыю або хутка распадаліся. Дадатковае вонкавае апраменьванне ад выпадання радыенуклідаў на паверхню зямлі з прычыны выпрабаванняў атамнай зброі складае менш за 1 % ад натуральнага апраменьвання.

Асноўны ўклад, які перавышае 1 %, у чаканую калектыўную эфектыўную дозу апраменьвання насельніцтва ад ядзерных выбухаў даюць толькі чатыры радыенукліды: вуглярод-14, цэзій-137, цырконій-95 і стронцый-90. Дозы апраменьвання за кошт гэтых радыенуклідаў, паколькі яны распадаюцца з розная хуткасцю, адрозніваюцца ў розныя прамежкі часу пасля выбуху. Так, вуглярод-14, у якога перыяд паўраспаду роўны 3730 гадам, будзе заставацца крыніцай выпраменьвання нават у далёкай будучыні. Цэзій-137 і стронцый-90 маюць перыяды паўраспаду 30 гадоў, таму і яны будуць захоўваць здольнасць да выпраменьвання працяглы час. І толькі цырконій-95 з перыядам паўраспаду 64 сутак ужо не з'яўляецца крыніцай апраменьвання.

Чаканая калектыўная эфектыўная доза (ЧКЭД) ад усіх атмасферных ядзерных выбухаў ацэньваецца ў 30 млн чал.-Зв. Да 1980 г. чалавецтва атрымала толькі 12 % гэтай дозы і большую частку яе будзе атрымліваць яшчэ мільёны гадоў.

Атамная энергетыка. Цяпер у шмат якіх краінах свету дзейнічаюць атамныя электрастанцыі (АЭС). Іх работа з'яўляецца толькі часткай ядзернага паліўнага цыкла (ЯПЦ)*, які пачынаецца са здабычы уранавай руды. Прыблізна палавіна яе здабываецца адкрытым спосабам (у кар'ерах) і палавіна — падземным (у шахтах). Працэнт натуральнага ўтрымання урану ў глебе вагаецца ў шырокіх межах, але ў сярэднім складае $3 \cdot 10^{-4}$. Руда пасля крышэння паступае на ўзбагачальную фабрыку, дзе натуральны уран вылучаецца з пароды. Пры перапрацоўцы руды ствараецца велізарная колькасць адходаў («хвастоў»), якія з'яўляюцца асноўнай крыніцай радыеактыўнага забруджвання. Насельніцтва, якое пражывае ў раёнах уранавых шахт і ўзбагачальных фабрык, апраменьваецца менавіта нуклідамі з гэтых адходаў (пераважна урану і даччыных прадуктаў яго распаду). Паблізу дзеючых узбагачальных фабрык (у асноўным у Паўночнай Амерыцы) ужо назбіралася 120 млн т

* Ядзерным паліўным цыклам звычайна называюць комплекс вытворчых працэсаў, якія паслядоўна паўтараюцца і асноўнай мэтай якіх з'яўляецца атрыманне цяпла або электрычнасці на аснове выкарыстання атамнай энергіі.

адходаў, якія будуць заставацца радыеактыўнымі на працягу мільёнаў гадоў.

Уранавы канцэнтрат з узбагачальнай фабрыкі паступае на далейшую ачыстку ад пабочных дамешкаў і на спецыяльных заводах ператвараецца ў ядзернае паліва, якое ўжываецца ў ядзерных рэактарах на АЭС. Адпрацаванае ў АЭС ядзернае паліва праходзіць другасную перапрацоўку (рэгенерацыя) для вылучэння з апрамененага ядзернага паліва урану і плутонію з мэтай паўторнага выкарыстання іх у ЯПЦ. У ЯПЦ уваходзіць таксама транспарціроўка радыеактыўных матэрыялаў для забеспячэння ўсіх гэтых этапаў. На кожным этапе ЯПЦ у навакольнае асяроддзе пераходзяць радыенукліды з рознымі перыядамі паўраспаду. Канчаецца цыкл пахаваннем радыеактыўных адходаў.

Па ацэнках НКДАР, доза ад усяго ядзернага цыкла, звязанага з безаварыйным дзеяннем АЭС на планеце, у 1980 г. складала 500 чал.-Зв. Цікава ведаць, што КЭД ад выкарыстання вугалю для гатавання ежы і ацяплення жылля складае 100 000 чал.-Зв. Відавочна, што пражыванне паблізу вугальнай ЦЭС магутнасцю, напрыклад, 1000 МВт з улікам выкіду яе хімічных кампанентаў у сотні разоў больш небяспечнае, чым пражыванне паблізу АЭС аналагічнай магутнасці, бо яе гарантаваная бяспечная праца ў нармальных варунках абумоўлівае мізэрныя дозы (0,05 %) апрамяньвання насельніцтва ў параўнанні з атрыманай дозай ад натуральнага радыяцыйнага фону.

Залежнасць сярэднегадавой ЭД ад штучных крыніц выпрамяньвання і выпрамяньвання, створанага чалавекам, адзначаецца ў табл. 10.

Табл. 10. **Штучныя крыніцы выпрамяньвання і чалавек**

Крыніца выпрамяньвання	Сярэдняя гадавая доза	
	мЗв	мбэр
Апрамяньванне ў медыцынскіх мэтах (рэнтгенаграфія зуба — 3 бэр, рэнтгенаскапія лёгкіх — 2 — 8 бэр, страўніка — 30 бэр і інш.	1,5	150
Будаўнічыя матэрыялы (граніт, бетон, цэгла і інш.)	1,0	100
Палёты ў самалёце (адлегласць 2000 км, вышыня 12 км) — 5 разоў у год	0,05	5
Тэлевізар (прагляд праграм па 4 гадзіны ў дзень)	0,01	1
ЯПЦ	0,025	2,5
ЦЭС (на вугалі) на адлегласці 20 км	0,006 — 0,06	0,6 — 6,0
Асадкі пры ядзерных выпрабаваннях	0,02	2,0
Угнаенні	0,000136	0,136
Іншыя крыніцы	0,4	40
Усяго (акруглена)	3,0	300

Сярэднегадавая доза поўнага фонавага апраменьвання насельніцтва былога СССР з улікам усіх крыніц выпраменьвання адзначаецца ў табл. 11.

Табл. 11. Фонавае апраменьванне чалавека

Кампанент фону	Сярэдняя гадавая доза	
	мЗв	мбэр
Натуральны (космас, Зямля)	2,0 (0,7 — 13)*	200 (70 — 1300)
Тэхнагенны (у працэсе чалавечай дзейнасці)	1,05 (0,5 — 1,5)	105 (50 — 150)
Штучны (абумоўлены штучнымі крыніцамі)	1,6 (0,03 — 6)	160 (3 — 600)
Іншыя	0,11 — 0,16	11 — 16
Усяго (акруглена)	5,0	500

* У дужках адзначаецца дыяпазон ваганняў доз.

Такім чынам, сярэднегадавая індывідуальная ЭД для насельніцтва былога СССР за кошт усіх крыніц фонавага апраменьвання складае каля 5,0 м/Зв, у тым ліку за кошт натуральнага, тэхнагеннага і штучнага — адпаведна 2,0; 1,05 і 1,72 мЗв.

Перш чым перайсці да наступнай главы, нагадаем чытачу аб асноўных міжнародных арганізацыях у галіне атамнай энергетыкі.

1. Міжнародная камісія па радыяцыйнай ахове (МКРА). Яна дзейнічае з 1928 г. і з'яўляецца міжнародным органам, які распрацоўвае правілы працы з радыеактыўнымі рэчывамі, асновы радыяцыйнай бяспекі і ў першую чаргу прынцыпы і падыходы да нарміравання.

2. Нацыянальная камісія па радыяцыйнай ахове (НКРА), створаная ў рэспубліцы ў 1991 г. (старшыня — акадэмік В. А. Мацюхін). Яе задачай з'яўляецца абагульненне матэрыялаў па навуковым абгрунтаванні прынцыпаў, а таксама распрацоўка асноўных канцэпцый новых норм і правіл радыяцыйнай бяспекі.

3. Навуковы камітэт па дзеянні атамнай радыяцыі (НКДАР), створаны Генеральнай Асамблеяй ААН у снежні 1955 г. для ацэнкі ў сусветным маштабе доз апраменьвання, іх эфекту і звязанай з ім рызыкі. Ён з'яўляецца толькі крыніцай ведаў па радыяцыі, на падставе якіх МКРА і НКРА выпрацоўваюць адпаведныя нормы і рэкамендацыі.

4. Міжнароднае агенцтва па атамнай энергіі (МАГАТЭ), спецыялізаваная ўстанова ААН. Створана ў 1957 г. для развіцця міжнароднага супрацоўніцтва ў галіне мірнага выкарыстання атамнай энергіі. Аб'ядноўвае 114 дзяржаў (1978 г.), у тым ліку і былы СССР з 1957 г. Месца знаходжання штаб-кватэры — Вена (Аўстрыя).

5. СААЗ — Сусветная арганізацыя па ахове здароўя.

Глава 6. ГІГІЕНІЧНЫЯ АСПЕКТЫ РАДЫЯЦЫЙНАЙ БЯСПЕКІ НАСЕЛЬНІЦТВА

НОРМЫ І ПРАВІЛЫ РАДЫЯЦЫЙНАЙ БЯСПЕКІ

У эпоху імклівага развіцця атамнай энергетыкі, пры ўсё большых маштабах выкарыстання радыеактыўных рэчываў і крыніц іанізуючых випраменьванняў у прамысловасці, сельскай гаспадарцы, медыцыне, навуцы фактар дадатковага ўздзеяння радыяцыі на чалавека і навакольнае асяроддзе пачынае набываць глабальны характар. Пранікненне ў навакольнае асяроддзе іанізуючых выпраменьванняў ад штучных крыніц і тэхнагеннае распаўсюджванне натуральных радыенуклідаў выклікаюць дадатковае (поруч з прыродным фонам, які з'яўляецца неад'емным фактарам асяроддзя прабывання) апраменьванне любога жывога арганізма на Зямлі, у паветры і вадзе (у біясферы). Як ужо адзначалася, іанізуючае выпраменьванне не бясшкоднае для чалавека і пры пэўных узроўнях уздзеяння выклікае развіццё неабарачальных змяненняў з тымі ці іншымі біялагічнымі вынікамі. Напрыклад, пры вялікіх дозах радыяцыя можа выклікаць сур'ёзныя пашкоджанні тканак, а пры малых — рак, а таксама індуцыраваць генетычныя дэфекты, якія, магчыма, выявяцца ў дзяцей і ўнукаў чалавека, які знаходзіўся пад уздзеяннем выпраменьвання, або ў яго больш далёкіх нашчадкаў.

Трэба адзначыць, што крыніцай шкоднага ўздзеяння атамнай энергіі пры яе мірным выкарыстанні з'яўляецца толькі выпраменьванне пры радыеактыўных распадах ядзер. Таму пры масавым выкарыстанні атамнай энергіі павінен існаваць надзейны шчыт для адмоўнага ўздзеяння на чалавека нават пры новай тэхніцы і тэхналогіі. У дачыненні да атамнай энергіі — гэта комплекс мерапрыемстваў, які прадухіляе шкоднае ўздзеянне радыяцыі на чалавека і аб'екты навакольнага асяроддзя. Такім шчытом для атамнай тэхнікі з'яўляецца сістэма радыяцыйнай бяспекі.

У працэсе ядзернага энергетычнага тэхналагічнага цыкла магчымы пераход нейкай колькасці радыеактыўных рэчываў у навакольнае асяроддзе. Вось чаму радыяцыйнае апраменьванне дзейнічае не толькі на тых асоб, якія непасрэдна працуюць з радыеактыўнымі рэчывамі і крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў, але і на тую

частку насельніцтва, якая пражывае па суседству з атамнымі прадпрыемствамі або ўстаноўкамі.

Паколькі чалавецтва не можа элімінаваць наяўны прыродны фон, то ўсе яго намаганні павінны накіроўвацца на змяншэнне ўздзеяння ад штучных крыніц іанізуючых выпраменьванняў. Для гэтага неабходна вылучаць мэты і вырашаць задачы нарміравання радыяцыйных уздзеянняў на жывы арганізм.

Падставай сучасных канцэпцый нарміравання радыяцыйнага фактару з'яўляецца прынцып абмежавання дозы вонкавага і ўнутранага апраменьвання персаналу, а таксама насельніцтва пры ўжыванні, захаванні і транспарціроўцы радыеактыўных рэчываў, выкарыстанні ядзерных рэактараў, паскаральнікаў зараджаных часцінак, рэнтгенаўскіх апаратаў і іншых крыніц іанізуючых выпраменьванняў.

Паколькі чалавек з'яўляецца адным з самых радыеадчувальных аб'ектаў біясферы, то надзейная ахова толькі яго ад радыяцыі гарантуе радыяцыйную бяспеку і ўсім іншым відам жывых арганізмаў у прыродзе і навакольнаму асяроддзю ў цэлым. Такі прынцып уздзеяння называецца радыяцыйна-гігіенічным.

У наш час амаль усе краіны, якія выкарыстоўваюць атамную энергію, маюць нацыянальныя нормы і правілы радыяцыйнай бяспекі, заснаваныя на рэкамендацыях МКРА. Пры гэтым МКРА лічыць, што асноўнай мэтай радыяцыйнай бяспекі з'яўляецца забеспячэнне аховы ад іанізуючых выпраменьванняў асобных людзей, іх нашчадкаў і чалавецтва ў цэлым і стварэнне адпаведных варункаў для неабходнай практычнай дзейнасці, пры якой людзі могуць знаходзіцца пад уздзеяннем іанізуючых выпраменьванняў.

Асноўны дакумент у нашай краіне па рэгламентацыі ўзроўняў уздзеяння іанізуючых выпраменьванняў — «Нормы радыяцыйнай бяспекі НРБ-76/87», падрыхтаваныя НКРА*. Яго распрацоўшчыкі кіраваліся ўласным вопытам забеспячэння радыяцыйнай бяспекі персаналу і насельніцтва, а таксама вынікамі прац савецкіх і замежных вучоных і рэкамендацыямі МКРА. Асноўныя патрабаванні па забеспячэнні радыяцыйнай бяспекі рэгламентуюць «Асноўныя санітарныя правілы працы з радыеактыўнымі рэчывамі і другімі крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў АСП-72/87».

Дадзеныя дакументы распаўсюджваюцца на ўстановы ўсіх міністэрстваў і ведамстваў, прафсаюзаў і іншых грамадскіх і кааператыўных арганізацый, якія працуюць з крыніцамі іанізуючых

---

* НКРА Рэспублікі Беларусь рыхтуе свае НРБ, якія павінны выйсці ў бліжэйшы час (1995 г.).

выпраменьванняў. За парушэнне гэтых дакументаў прадугледжваецца дысцыплінарная або адміністрацыйная адказнасць, а за найбольш значныя парушэнні — і крымінальная адказнасць.

Нарміраванне ў былым СССР ажыццяўляецца на падставе наступных галоўных прынцыпаў радыяцыйнай бяспекі: а) неперавышэнне вызначанымі нормамі асноўнай дозавай граніцы; б) выключэнне ўсякага неабгрунтаванага апраменьвання; в) змяншэнне дозы выпраменьвання да найніжэйшага ўзроўню.

Гэтыя прынцыпы поўнасцю адпавядаюць тром узаемазвязаным прынцыпам рэгламентацыі дозавых нагрузак, якія рэкамендуюцца МКРА: 1) эквівалентная доза апраменьвання асобных людзей не павінна перавышаць граніцы, рэкамендаванай камісіяй для адпаведных варункаў; 2) ніякі від ужывання крыніц іанізуючых выпраменьванняў не павінен уводзіцца ў практыку, калі ён не забяспечвае рэальнай, чыстай карысці; 3) усе дозы апраменьвання павінны падтрымлівацца на такіх нізкіх узроўнях, якія толькі можна дасягнуць з улікам эканамічных і сацыяльных фактараў.

Для практычнай рэалізацыі асноўнага прынцыпу радыяцыйнай бяспекі — змяншэнне дозы выпраменьвання да найніжэйшага ўзроўню — вызначаюцца кантрольныя ўзроўні: для катэгорыі А (гл. с. 80) — адміністрацыяй установы па ўзгадненні з органамі Дзяржаўнага санітарнага нагляду; для катэгорыі Б — органамі Дзяржсаннагляду па прадстаўленні адміністрацыі ўстановы.

Лікавыя значэнні кантрольных узроўняў павінны забяспечваць варункі, пры якіх радыяцыйнае апраменьванне будзе менш за асноўныя дозавыя граніцы. Яны вызначаюцца з улікам рэальна дасягнутага ва ўстанове ўзроўню радыяцыйнай бяспекі. Пры вызначэнні кантрольных узроўняў трэба кіравацца тым, каб у дадзенай установе захоўваўся ўзровень радыяцыйнага ўздзеяння, меншы за дапушчальны ўзровень, а яшчэ лепш, каб ажыццяўлялася далейшае яго змяншэнне.

Кароткачасовае перавышэнне кантрольнага ўзроўню не ўяўляе непасрэднай небяспекі для здароўя, а з'яўляецца толькі сігналам аб пагаршэнні радыяцыйнай сітуацыі і неабходнасці прыняць меры па яе нармалізацыі. Парадак вызначэння лікавых значэнняў кантрольных узроўняў ажыццяўляецца ў адпаведнасці з АСП-72/87.

Дадзеныя нормы не вызначаюць лікавыя значэнні асноўных дозавых граніц і дапушчальных узроўняў для асоб катэгорыі В (насельніцтва).

КАТЭГОРЫІ АПРАМЕНЕНЫХ АСОБ* І ГРУПЫ КРЫТЫЧНЫХ ОРГАНАЎ

Згодна з НРБ-76/87 вызначаюцца наступныя катэгорыі апрамененых асоб.

К а т э г о р ы я А — персанал (прафесійныя работнікі) — асобы, якія пастаянна або часова працуюць непасрэдна з крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў: радыёлагі, працаўнікі АЭС, рэнтгенолагі і інш. Асобы маладзей 18 гадоў да працы з крыніцамі выпраменьвання не дапускаюцца.

К а т э г о р ы я Б — абмежаваная частка насельніцтва — людзі, якія не працуюць непасрэдна з крыніцамі іанізуючага выпраменьвання, але па ўмовах пражывання або размяшчэння працоўных месцаў (супрацоўнікі суседніх памяшканняў, адміністратары, вахцёры і інш.) могуць знаходзіцца пад уздзеяннем крыніц выпраменьвання. Такія крыніцы ўжываюцца ва ўстанове і (або) выдзяляюцца з адыходамі ў навакольнае асяроддзе.

Да катэгорыі Б належыць таксама частка насельніцтва (не толькі дарослага, але і дзяцей і цяжарных жанчын), якая пражывае на тэрыторыі, дзе магчымы ўплыў радыеактыўных выкідаў, іх скідванне і апраменьванне насельніцтва могуць дасягаць вызначанай дозавай граніцы.

К а т э г о р ы я В — насельніцтва (вобласці, края, дзяржавы), на якое дзейнічае толькі прыродны фон мясцовасці.

Як ужо адзначалася, розныя органы і тканкі чалавека валодаюць неаднолькавай радыеадчувальнасцю. Сістэма нарміравання апраменьвання зыходзіць з канцэпцыі крытычных органаў. К р ы т ы ч н ы м і называюцца тыя органы або тканкі, часткі цела або ўсё цела, апраменьванне якіх ва ўмовах нераўнамернага апраменьвання арганізма можа выклікаць найбольшую шкоду здароўю дадзенай асобы або яе нашчадкаў.

Вызначаюцца тры групы крытычных органаў: I — усё цела, ганады і чырвоны касцявы мозг; II — мышцы, шчытападобная залоза, тлушчавая тканка, печань, ныркі, селязёнка, стрававальны тракт, лёгкія, хрусталік вока і іншыя органы, за выключэннем тых, якія належаць да I і III груп; III — скурнае покрыва, касцявая тканка, кісці, перадплечча, галёнка, ступня.

---

* Катэгорыі апрамененых асоб — гэта групы апрамененых асоб, якія вылучаюцца ўмоўна, у адпаведнасці з варункамі кантакту з крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў.

АСНОЎНЫЯ ДОЗАВЫЯ ГРАНІЦЫ АПРАМЕНЬВАННЯ І ДАПУШЧАЛЬНЫЯ ЎЗРОЎНІ ДОЗ

Для кожнай катэгорыі апрамененых асоб вызначаюцца два віды нарматываў: 1) асноўныя дозавыя граніцы і 2) дапушчальныя ўзроўні, якія вызначаюцца згодна з умовай неперавышэння асноўных дозавых граніц. Класіфікацыя нарматываў прадстаўлена ў табл. 12.

Табл. 12. **Класіфікацыя апрамененых асоб, асноўных дозавых граніц і дапушчальных узроўняў доз**

Від нарматыву	Персанал (катэгорыя А)	Абмежаваная частка насельніцтва (катэгорыя Б)
Асноўная дозавая граніца	Гранічна дапушчальная доза (ГДД)	Граніца дозы (ГД)
	Гранічна дапушчальны гадавы пераход (ГДП)	Граніца гадавога пераходу (ГГП)
	Дапушчальнае ўтрыманне $ДУ_А$	Дапушчальнае ўтрыманне $ДУ_Б$
Дапушчальныя ўзроўні	Дапушчальная магутнасць дозы $ДМД_А$	Дапушчальная магутнасць дозы $ДМД_Б$
	Дапушчальная шчыльнасць плыні $ДШП_А$	Дапушчальная шчыльнасць плыні $ДШП_Б$
	Дапушчальная канцэнтрацыя $ДК_А$	Дапушчальная канцэнтрацыя $ДК_Б$
	Дапушчальнае забруджванне паверхні $ДЗ_А$	

Лічбавыя значэнні дадзеных паказчыкаў разлічваюць па адпаведных формулах.

Асноўнай дозавай граніцай для асоб катэгорыі А вызначаецца гранічна дапушчальная доза (ГДД) за каляндарны год, а для асоб катэгорыі Б — граніца дозы (ГД) за каляндарны год. ГДД з'яўляецца максімальным значэннем індывідуальнай эквівалентнай дозы за каляндарны год, якая пры раўнамерным апраменьванні на працягу 50 гадоў не будзе выклікаць у стане здароўя персаналу неспрыяльных змяненняў, якія б выяўляліся сучаснымі метадамі. Граніца дозы (ГД) — гэта максімальна дапушчальнае за каляндарны год значэнне эквівалентнай дозы, атрыманай асобным чалавекам з крытычнай групы* асоб, пры якой раўнамернае апраменьванне на працягу 70

* Крытычная група — сукупнасць асоб, для якіх па ўмовах жыцця, веку і іншых фактарах мае месца найбольшае радыяцыйнае ўздзеянне сярод дадзенага кантынгенту людзей (дзеці, хворыя, цяжарныя жанчыны і інш.).

гадоў не будзе выклікаць у стане здароўя неспрыяльных змяненняў, якія б выяўляліся сучаснымі метадамі. ГД — асноўная дозавая граніца для асоб катэгорыі Б.

Сутнасць адрознення паміж ГДД і ГД заключаецца ў тым, што ГДД нельга перавысіць ні для адзінай часткі крытычнага органа, ні для адзінага з прафесійных работнікаў, за выключэннем асаблівых выпадкаў, у той час як некаторае перавышэнне ГД у асобных індывідуумаў катэгорыі Б з прычыны натуральных адрозненняў ва ўмовах жыцця лічыцца дапушчальным і не стварае якой-небудзь дадатковай небяспекі для грамадства ў цэлым і для асобных людзей.

Узровень магчымага апраменьвання асоб катэгорыі Б ацэньваецца па даных аб значэнні магутнасці дозы апраменьвання ў розных пунктах зоны назірання, велічыні радыеактыўных выкідаў, актыўнасці аб'ектаў вонкавага асяроддзя (паветра, глебы, раслін, вады). Заўважым, што рэгламентаваныя значэнні ГДД і ГД не ўтрымліваюць дозы, абумоўленай натуральным радыяцыйным фонам, і дозы, якую пацыент атрымлівае пры медыцынскім абследаванні і лячэнні.

Асноўныя дозавыя граніцы вызначаюцца для індывідуальнай максімальнай эквівалентнай дозы ў крытычных органах (табл. 13).

Табл. 13. **Дозавыя граніцы вонкавага і ўнутранага апраменьвання, мЗв (бэр)**

Група крытычных органаў	ГДД для катэгорыі А	ГД для катэгорыі Б
I	50 (5)	5 (0,5)
II	150 (15)	15 (1,5)
III	300 (30)	30 (3)

З даных табл. 13 вынікае, што для катэгорыі А ў якасці асноўнай дозавай граніцы вызначана ГДД, роўная 50, 150 і 300 мЗв за каляндарны год, а для катэгорыі Б — ГД за каляндарны год, роўная 5, 15, 30 мЗв адпаведна для I, II і III груп крытычных органаў.

Для асоб катэгорыі Б, да якіх могуць належаць не толькі дарослыя, але і дзеці, а таксама цяжарныя жанчыны, вызначаная ГД у 10 разоў меншая, чым для персаналу (ГДД роўна 50 мЗв), і складае 5 мЗв за каляндарны год.

Размеркаванне дозы выпраменьвання на працягу каляндарнага года не рэгламентуецца, за выключэннем жанчын ва ўзросце да 40 гадоў (катэгорыя А) з мэтай змяншэння імавернасці генетычных вынікаў. Апраменьванне вобласці таза і ніжняй часткі жывата для іх не павінна перавышаць 10 мЗв.

Вызначэнне граніц апраменьвання неабходна для планавання ахоўных мерапрыемстваў у тых выпадках, калі надфонавае апра-

меньванне непазбежнае. Гэта звязана яшчэ і з тым, што няма парога, ніжэй якога выпраменьванне было б бясшкодным. Людзі, якія непасрэдна працуюць з крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў, знаходзяцца пад больш моцным уздзеяннем радыяцыі. Для іх вызначана ГДД ў межах 50 мЗв у год, пры перавышэнні якой неабходна ўмяшанне кантралюючых органаў (адхіленне ад рэжыму работы, узмацненне ахоўных мер, нават да закрыцця вытворчасці).

Для асоб катэгорыі Б вызначана граніца дозы ў 10 разоў меншая, гэта значыць роўная 5 мЗв/год.

На насельніцтва (катэгорыя В) дзейнічае толькі прыродны фон мясцовасці. Адмова ад рэгламентацыі апраменьвання для катэгорыі В абумоўлена тым, што цяпер дозы апраменьвання надзвычай нізкія. Напрыклад, сярэдняя індывідуальная доза на ўсё цела ад усіх відаў выкарыстання атамнай энергіі складае менш за 1 % дозы, абумоўленай прыродным фонам.

Абмежаванне апраменьвання насельніцтва ажыццяўляецца шляхам нарміравання або кантролю за радыеактыўнасцю аб'ектаў навакольнага асяроддзя (паветра, вады, прадуктаў харчавання, глебы і да т. п.), тэхналагічнымі працэсамі, якія могуць выклікаць выкід радыеактыўных рэчываў; дозамі ад тэхналагічнага павялічанага натуральнага радыяцыйнага фону; узроўнем апраменьвання, выкліканым медыцынскімі працэдурамі, а таксама вызначанымі НРБ-76/87 дозавымі граніцамі для катэгорый А і Б.

Эксперты па ахове ад радыяцыі лічаць, што дадатковае апраменьванне насельніцтва звыш прыроднага фону дозай 1 мЗв/год небяспечнае і недапушчальнае. Каб пазбегнуць апраменьвання, найважнейшай задачай з'яўляецца стварэнне максімальна бяспечнай ядзернай энергетыкі. Строга ў адпаведнасці з паказаннямі павінна выкарыстоўвацца іанізуючае выпраменьванне ў медыцынскай практыцы. Таму ў НРБ-76/87 вызначаецца, што з мэтай аховы насельніцтва і навакольнага асяроддзя неабходна ажыццяўляць меры па папярэджванні і абмежаванні стварэння радыеактыўных адходаў і максімальным змяншэнні іх пераходу ў навакольнае асяроддзе. У НРБ-76/87 рэкамендуецца таксама змяншаць узровень апраменьвання пры масавых рэнтгенарадыелагічных абследаваннях насельніцтва (асабліва цяжарных жанчын, дзяцей і падлеткаў) шляхам удасканальвання апаратуры і метадаў абследавання.

Зыходзячы з вызначаных ГДД і ГД, разлічваюць значэнні дапушчальнага ўтрымання (ДУ) для розных радыенуклідаў. Дапушчальнае ўтрыманне, або дапушчальны ўзровень утрымання, радыенуклідаў у арганізме чалавека — гэта такое сярэдняе за год утрыманне радыенуклідаў у арганізме (крытычным органе), пры якім максімальная

эквівалентная доза за каляндарны год роўна ГДД для асоб катэгоры А або ГД для асоб катэгоры Б.

ДУ залежыць ад тыпу размеркавання радыеактыўнага рэчыва ў арганізме. Для радыенуклідаў, якія раўнамерна размяшчаюцца ў арганізме, значэнне ДУ змяняецца ў межах $10^5 - 10^7$ Бк (трытый, вуглярод, натрый, калій і інш.).

Для разліку ДУ карыстаюцца спецыяльнымі табліцамі. З іх вынікае, што ДУ для радыенуклідаў, якія раўнамерна размяшчаюцца ў арганізме, змяняецца ад 0,12 МБк (для калію-40) да 44 МБк (для вадароду). Пры такім утрыманні паглынутая доза састаўляе 0,05 Зв у год.

Схематычна шлях разліку ДУ паступлення радыеактыўнага рэчыва ў арганізм заключаецца ў настуйным. Выкарыстоўваюць адпаведныя табліцы і атрымліваюць вызначаную колькасць ДУ радыенуклідаў у арганізме. Яго дзеляць на кратнасць збірання гэтых жа радыенуклідаў у арганізме або ў крытычным органе. Велічыня дзелі ад дзялення гэтых велічынь і будзе характарыстыкай штодзённага паступлення ў арганізм дадзенага радыеактыўнага рэчыва. Пры штодзённым паступленні ў арганізм такіх ці меншых колькасцей радыеактыўнага рэчыва ніколі не будзе перавышацца яго ДУ.

Шляхам разліку можна вызначыць і дозу выпраменьвання радыенуклідаў у асобным органе або арганізме ў цэлым. Для гэтага неабходна ведаць утрыманне радыеактыўнага рэчыва ў тканках або ў органе і энергію выпраменьвання пры радыеактыўных распадах ядзер. Магутнасць паглынутай дозы выпраменьвання *Д* (Гр/гадз), якая стварaецца ў органе або тканках,

$$Д = 5{,}8 \cdot 10^{-4}\ EC,$$

дзе E — сярэдняя энергія выпраменьвання α- або β-часцінак, МэВ; C — удзельная актыўнасць радыеактыўнага рэчыва ў тканках у дадзены момант часу, кБк/гадз.

Напрыклад, магутнасць дозы выпраменьвання ад гіпатэтычных радыенуклідаў з энергіяй 2,0 МэВ, удзельная актыўнасць якіх у тканках складае 1 кБк/гадз,

$$Д = 5{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot 2{,}0 \cdot 1 = 1{,}16 \cdot 10^{-3}\ \text{Гр/гадз}.$$

Цяпер надрукаваны вынікі разлікаў збірання радыенуклідаў у арганізме і дозы выпраменьвання, якія пры гэтым утвараюцца.

У НРБ-76/87 рэгламентуецца толькі гадавая ГДД, што дазваляе больш правільна арганізаваць работу ў радыяцыйна небяспечных варунках, асабліва пры ліквідацыі вынікаў аварый, рамонтных работах і г. д. Відавочна, што не ўводзіцца абмежаванняў на ўзровень

апраменьвання за працоўны дзень, тыдзень, месяц і дапушчальнае аднаразовае апраменьванне ў дозе, роўнай ГДД. Для ўсіх прафесійных работнікаў улік індывідуальных доз вонкавага і ўнутранага апраменьвання абавязковы. Пры гэтым індывідуальны дазіметрычны кантроль абавязковы для асоб, у якіх з прычыны працоўнай дзейнасці доза апраменьвання можа перавышаць 0,3 ад гадавой ГДД. Калі ж для персаналу па ўмовах працы доза апраменьвання не можа перавышаць 0,3 ад гадавой ГДД, тады індывідуальны дазіметрычны кантроль не абавязковы. У такім выпадку доза апраменьвання ацэньваецца па даных аб магутнасці паглынутай дозы вонкавага выпраменьвання і канцэнтрацыі радыеактыўных рэчываў у паветры працоўных памяшканняў.

АВАРЫЙНАЕ АПРАМЕНЬВАННЕ НАСЕЛЬНІЦТВА*

Пры радыяцыйнай аварыі непазбежна апраменьванне часткі насельніцтва, якая пражывае на тэрыторыі вакол санітарна-ахоўнай зоны**, у дозах, якія перавышаюць дапушчальныя значэнні. Адзначаецца, што патэнцыяльную дозу вонкавага выпраменьвання і (або) паступлення радыенуклідаў у арганізм падчас аварыі прадбачыць немагчыма. Пасля вызначэння факта аварыі асобай, якая адказвае за радыяцыйную бяспеку на прадпрыемстве, павінны прымацца экстранныя меры, прадугледжаныя інструкцыяй па ліквідацыі аварыі на аб'екце (згодна з патрабаваннямі АСП-72/87). Пры гэтым павінны прымацца ўсе меры для мінімізацыі вонкавага апраменьвання, паступлення радыеактыўных рэчываў у арганізм чалавека, а таксама радыеактыўнага забруджвання аб'ектаў навакольнага асяроддзя.

Тэрыторыя, на якой перавышаюцца асноўныя дозавыя граніцы, належыць да зоны радыяцыйнай аварыі. У кожнай установе, дзе працуюць з радыенуклідамі і іншымі крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў, павінны распрацоўвацца мерапрыемствы, накіраваныя на папярэджанне аварыйных сітуацый, а таксама на ліквідацыю вынікаў у выпадку іх узнікнення. Гранічныя дозы вонкавага аварыйнага апраменьвання і паступлення радыенуклідаў у арганізм НРБ-76/87 не вызначае.

* Аварыйнае апраменьванне — гэта неспадзяванае павялічанае вонкавае апраменьванне і (або) паступленне радыеактыўных рэчываў унутр арганізма персаналу або насельніцтва пры радыяцыйнай аварыі.

** Санітарна-ахоўная зона — тэрыторыя вакол прадпрыемства або крыніцы радыеактыўных выкідаў, на якой узровень апраменьвання можа перавысіць граніцу дозы (ГД). Тут уводзяцца пэўныя абмежаванні (не дазваляецца пражыванне і да т. п.), мае месца радыяцыйны кантроль.

Аднаразовае апраменьванне дозай звыш 5 ГДД вонкавага (або сумарнага вонкавага і ўнутранага) павінна разглядацца як патэнцыяльна небяспечнае.

Сярод першачарговых мер — неадкладнае хаванне насельніцтва ў памяшканнях падчас праходжання воблака радыеактыўнага выкіду. Пры гэтым значна змяншаецца доза вонкавага апраменьвання і практычна поўнасцю выключаецца магчымасць інгаляцыйнага паступлення радыеактыўных рэчываў. Як мага раней (адначасова з выбухам) неабходна прымаць лекавыя прэпараты, якія перашкаджаюць збіранню біялагічна небяспечных радыенуклідаў у арганізме (напрыклад, ёдная прафілактыка — прыманне ўнутр прэпаратаў стабільнага ёду: ёдыду калію або водна-спіртавога раствору ёду). Пры гэтым дасягаецца значная ступень аховы ад збірання радыеактыўнага ёду ў шчытападобнай залозе. Ёдыд калію трэба прымаць па 1 таблетцы пасля яды і запіваць гарбатай, кампотам або вадой 1 раз у дзень на працягу 7 сутак (дзецям да двух гадоў — 0,040 г на адно прыманне, старэйшым дзецям і дарослым — 0,125 г на адно прыманне). Водна-спіртавы раствор ёду трэба прымаць 3 разы ў дзень пасля яды на працягу 7 сутак (дзецям да двух гадоў — па 1 — 2 кроплі 5 % настойкі на паўшклянкі малака (кансерваванага) або пажыўнай сумесі, старэйшым дзецям і дарослым — па 3 — 6 кропель на шклянку малака (кансерваванага) або вады. На скуру кісцей рук наносіцца настойка ёду ў выглядзе сеткі 1 раз у дзень на працягу 7 сутак.

Сэнс прымання стабільнага ёду заключаецца ў тым, што ён перашкаджае паступленню радыеактыўнага ёду ў шчытападобную залозу і садзейнічае выдзяленню з яе ўжо трапіўшага ізатопа. Трэба ведаць, што перадазіроўка звычайнага ёду выклікае пабочныя з'явы (запаленчыя змяненні ў насаглотцы, алергічны стан).

Пры выратаванні жыцця людзей, прадухіленні вялікай аварыі, падобнай да аварыі на ЧАЭС, і пры паўторных апраменьваннях вялікай колькасці людзей дапускаецца апраменьванне некаторых работнікаў дозай, якая ў 2 або 5 разоў перавышае гранічна дапушчальную. У кожным асобным выпадку неабходна паведаміць персаналу аб магчымай рызыцы і выніках апраменьвання. Дадатковае апраменьванне можа мець месца з дазволу кіраўніка ўстановы і асабістай згоды выканаўцы. Асобы, якія знаходзіліся пад уздзеяннем такога апраменьвання, павінны неадкладна выводзіцца з зоны ўздзеяння і накіроўвацца на медыцынскае абследаванне.

Пры прыманні наступных мер Міністэрства аховы здароўя з улікам маштабаў і характару аварыі вызначае для насельніцтва, якое можа быць пакінута на заражанай тэрыторыі, часовыя асноўныя дозавыя граніцы і дапушчальныя ўзроўні радыеактыўнага забру-

джвання тэрыторыі, харчовых прадуктаў і г. д. Яно не распрацоўвае санітарныя правілы для забеспячэння жыццядзейнасці на тэрыторыі, забруджанай радыеактыўнымі рэчывамі, але прымае рашэнне аб эвакуацыі асобных кантынгентаў насельніцтва.

Для ўсіх асоб, якія апынуліся ў зоне аварыі, пры неабходнасці ажыццяўляецца санітарная апрацоўка цела са зняццем забруджанага адзення, з наступным старанным і ўсеахопным медыцынскім абследаваннем.

Аб усіх выпадках радыяцыйнай аварыі адміністрацыя прадпрыемстваў павінна неадкладна паведаміць у радыелагічнае аддзяленне гарадской, абласной або рэспубліканскай санітарна-эпідэміялагічнай станцыі (СЭС), якая ажыццяўляе радыяцыйна-гігіенічны нагляд за выкананнем работы з радыенуклідамі і іншымі крыніцамі іанізуючага выпраменьвання на дадзеным прадпрыемстве.

АСНОЎНЫЯ САНІТАРНЫЯ ПРАВІЛЫ РАБОТЫ З КРЫНІЦАМІ ІАНІЗУЮЧЫХ ВЫПРАМЕНЬВАННЯЎ

Пры рабоце з радыеактыўнымі рэчывамі і крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў важнае значэнне набывае правільная арганізацыя працы, якая забяспечвае радыяцыйную бяспеку персаналу і насельніцтва ў цэлым. У гэтым выпадку ўзроўні выпраменьвання ад крыніц вонкавага і ўнутранага апраменьвання не будуць перавышаць рэгламентаваных значэнняў для адпаведнай катэгорыі асоб і груп крытычных органаў.

Асноўным дакументам па радыяцыйнай бяспецы пры рабоце з крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў з'яўляюцца «Асноўныя санітарныя правілы працы з радыеактыўнымі рэчывамі і іншымі крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў АСП-72/87». Гэтыя правілы ўтрымліваюць шэраг патрабаванняў да арганізацыі працоўных месцаў і тэхналагічных рэжымаў, да сістэмы вентыляцыі, збору і выдалення радыеактыўных адходаў, па індывідуальнай ахове, выкананні мер асабістай гігіены і г. д. Яны маюць абавязковую сілу для ўсіх прадпрыемстваў і ўстаноў, у якіх працуюць з крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў, што дазваляе выключыць магчымасць пераходу радыеактыўных рэчываў у арганізм і тым самым стварыць бяспечныя ўмовы працы.

На падставе гэтых правіл і патрабаванняў міністэрствы і ведамствы па ўзгадненні з органамі санітарна-эпідэміялагічнай сістэмы павінны распрацоўваць правілы і інструкцыі па асобных пытаннях выканання работы з радыеактыўнымі рэчывамі і крыніцамі іанізуючых выпраменьванняў.

Сістэма органаў санітарнага нагляду ажыццяўляе сістэматычны кантроль за навакольным асяроддзем. Газета «Советская Белоруссия» (1990. 6 лютага) надрукавала матэрыял «Патаемныя плямы». У ім паведамлялася, што ў Мінску выяўлена больш за 3000 пунктаў з павялічанай радыеактыўнасцю. Шэсць з іх спецыялісты адзначылі як асабліва небяспечныя. У прыватнасці, на праспекце Францыска Скарыны ў паўметры ад агароджы дзіцячага садка № 192, побач са скрыняй для смецця, на глыбіні 30 — 35 см выявілі флакон з солямі радыю. Як ён туды трапіў і колькі часу знаходзіўся ў зямлі — невядома. Магутнасць γ-выпраменьвання дасягала тут 67 мР/гадз, што амаль у 3,5 тыс. разоў больш за ўзровень натуральнага фону (0,02 мР/гадз). Выпраменьванне ад крыніцы радыеактыўнага забруджвання распаўсюджвалася на адлегласць 2 м. Даволі часта дзеці ў час прагулак знаходзіліся ў небяспечнай зоне. Другі прыклад. На Землямернай вуліцы, дом 21, 30 гадоў таму падлетак знайшоў у будаўнічай траншэі пакінутую без догляду прыладу. Гэта быў гама-дэфектаскоп, з дапамогай якога правяраюць надзейнасць зварных швоў. Распілаваўшы прыладу, цікаўны юнак атрымаў апёк трох пальцаў. А дом № 21 працягваў «свяціць» сваім жыхарам, і прычым так, што амаль прайшоў перыяд паўраспаду цэзію-137 — 30 гадоў (Советская Белоруссия. 1989. 17 снежня).

Усё, што прызначаецца для работы з выкарыстаннем крыніц іанізуючых выпраменьванняў (упакоўкі, абсталяванне, памяшканні і да т. п.), павінны мець папераджальныя знакі (рыс. 12) радыяцыйнай небяспекі.



Рыс. 12. Знак радыяцыйнай небяспекі

Знак радыяцыйнай небяспекі мае форму і памеры, якія адпавядаюць патрабаванням Дзяржстандарту. Дапускаецца чорная афарбоўка ўнутранага круга, трох пялёсткаў і шляка трохвугольніка, калі знак ужываецца на аб'ектах. Для маркіроўкі транспартных упаковачных камплектаў знак афарбоўваецца ў чырвоны ці жоўты колер. У тым месцы, якое адзначана на рысунку, дазваляецца размяшчаць папераджальныя надпісы аб небяспецы, напрыклад «Радыеактыўнасць!», «γ-Выпраменьванне!», «Крыніцы нейтронаў!» і інш. Дазваляецца наносіць вертыкальныя чырвоныя палосы для абазначэння транспартных катэгорый.

Радыеактыўныя рэчывы па ступені радыяцыйнай небяспекі падзяляюцца на групы. Межы груп вызначаюцца па м і н і м а л ь н а з н а ч н а й а к т ы ў н а с ц і (МЗА). Пад ёй разумеюць найменшую актыўнасць адкрытай крыніцы на працоўным месцы, пры якой яшчэ патрабуецца дазвол органаў Дзяржсаннагляду (НРБ-

76/87) для працы. Калі актыўнасць радыеактыўнага рэчыва менш за мінімальна значную актыўнасць, названую ў НРБ-76/87, або пры выкарыстанні крыніц з энергіяй менш за 10 кэВ (тэлевізар), спецыяльнага дазволу не патрабуецца.

Па ступені радыяцыйнай небяспекі вылучаюць чатыры групы радыенуклідаў (табл. 14).

Табл. 14. **Класіфікацыя радыенуклідаў па ступені радыяцыйнай небяспекі**

Група	Ступень радые-таксічнасці	Мінімальна значная актыўнасць, кБк (мкКы)	Радыенукліды
А	Асабліва вялікая	3,7 (0,1)	Паланій-210, радый-226, плутоній-228 і інш.
Б	Вялікая	37 (1)	Стронцый-90, ёд-131, уран-235 і інш.
В	Сярэдняя	370 (10)	Цэзій-137, фосфар-32, стронцый-89 і інш.
Г	Малая	3700 (100)	Трытый, вуглярод-14, жалеза-55 і інш.

З даных табл. 14 вынікае, што група А рэпрэзентуе радыенукліды (паланій-210, радый-226, плутоній-228) з МЗА 3,7 кБк (0,1 мкКы); група Б — радыенукліды (стронцый-90, ёд-131, уран-235 і інш.) з МЗА 37 кБк (1 мкКы); група В — радыенукліды (цэзій-137, фосфар-32, стронцый-89 і інш.) з МЗА 370 кБк (10 мкКы); група Г — радыенукліды (трытый, вуглярод-14, жалеза-55 і інш.) з МЗА 3700 кБк (100 мкКы).

Прыналежнасць радыенуклідаў да групы радыяцыйнай небяспекі адзначана ў НРБ-76/87. МЗА змяняецца для розных радыенуклідаў у межах 3,7 — 3700 кБк (0,1 — 100 мкКы). Кожная група радыяцыйнай небяспекі характарызуецца пэўнай ступенню таксічнасці дзеяння: група А мае вельмі вялікую ступень радыетаксічнасці, Б — вялікую, В — сярэднюю, Г — малую. Кароткачасовая радыеактыўныя рэчывы з перыядам паўраспаду менш за 24 гадзіны не адзначаюцца ў НРБ-76/87. Яны належаць да групы Г.

Таксічнасць радыеактыўных рэчываў вызначаецца сумай такіх паказчыкаў, як перыяд паўраспаду, энергія выпраменьвання, адчувальнасць крытычных органаў, асаблівасці адкладанняў і хуткасці выдзялення з іх радыенуклідаў і інш.

Найбольшая небяспека існуе пры рабоце з адкрытымі крыніцамі радыеактыўных рэчываў, калі магчымы пераход іх у навакольнае асяроддзе. Напрыклад, пры выдзяленні тых ці іншых нуклідаў з нейкай сумесі радыеактыўных прадуктаў пры радыяцыйна-хімічных

работах у такіх выпадках, апроч вонкавага апраменьвання, магчымы пераход радыенуклідаў у арганізм чалавека.

Усе работы з адкрытымі крыніцамі радыеактыўных рэчываў падзяляюцца на тры класы — I, II, III. Клас работы вызначаецца ў залежнасці ад групы радыяцыйнай небяспекі радыенуклідаў і іх актыўнасці на працоўным месцы (табл. 15).

Табл. 15. **Актыўнасць радыенуклідаў на працоўным месцы для розных класаў работ з адкрытымі крыніцамі, Бк**

Група радыяцыйнай небяспекі	Клас		
	I	II	III
А	$3{,}7 \cdot 10^{8}$	$3{,}7 \cdot 10^{5} - 3{,}7 \cdot 10^{8}$	$3{,}7 \cdot 10^{3} - 3{,}7 \cdot 10^{5}$
Б	$3{,}7 \cdot 10^{9}$	$3{,}7 \cdot 10^{6} - 3{,}7 \cdot 10^{9}$	$3{,}7 \cdot 10^{4} - 3{,}7 \cdot 10^{6}$
В	$3{,}7 \cdot 10^{10}$	$3{,}7 \cdot 10^{7} - 3{,}7 \cdot 10^{10}$	$3{,}7 \cdot 10^{5} - 3{,}7 \cdot 10^{7}$
Г	$3{,}7 \cdot 10^{17}$	$3{,}7 \cdot 10^{8} - 3{,}7 \cdot 10^{11}$	$3{,}7 \cdot 10^{6} - 3{,}7 \cdot 10^{8}$

Для кожнага класа работ існуюць адпаведныя санітарна-гігіенічныя мерапрыемствы (апрацоўка памяшканняў і інш.), якія неабходна выконваць.

Пры рабоце з адкрытымі радыеактыўнымі крыніцамі абслугоўваючы персанал абавязкова забяспечваецца сродкамі індывідуальнай аховы: камбінезонамі, паўкамбінезонамі, курткамі, штанамі, халатамі, фартухамі, пальчаткамі, нарукаўнікамі, адмысловым абуткам (гумавыя боты, чаравікі, бахілы і інш.), пнеўмакасцюмамі (пры ліквідацыі аварыі); сродкамі аховы органаў дыхання (процівагазы, рэспіратары, пнеўмашлемы) пры рабоце з радыеактыўнымі газамі, аэразолямі, парашкамі; шчыткамі з арганічнага шкла для аховы вачэй ад β-выпраменьвання. Выбар сродкаў індывідуальнай аховы вызначаецца радыяцыйнай сітуацыяй і варункамі працы, узроўнем забруджвання паветра і працоўных паверхняў радыеактыўнымі рэчывамі, а таксама характарам і аб'ёмам выконваемай работы.

Спецадзенне і дадатковыя сродкі індывідуальнай аховы, узровень забруджвання якіх перавышае рэгламентаваныя значэнні, трэба накіроўваць на дэзактывацыю.

Усе патрабаванні да памяшканняў і абсталявання, прызначаных для работы з радыеактыўнымі рэчывамі, падрабязна абмяркоўваюцца ў АСП-72/87.

Асаблівую ўвагу патрэбна звяртаць на правільную арганізацыю працы, сістэматычны дазіметрычны кантроль і своечасовыя меры

па дэзактывацыі, а таксама на выкананне правіл асабістай гігіены. Сукупнасць пералічаных патрабаванняў — неабходная ўмова забеспячэння радыяцыйнай бяспекі, якая дазваляе выключыць шкоднае ўздзеянне радыенуклідаў на арганізм чалавека.

Глава 7. ВЫНІКІ АВАРЫІ НА ЧАРНОБЫЛЬСКАЙ АЭС

МЕСЦАЗНАХОДЖАННЕ І АСНОЎНАЯ ТЭХНІЧНАЯ ХАРАКТАРЫСТЫКА ЧАЭС ДА АВАРЫІ

Чарнобыльская АЭС размяшчаецца ва ўсходняй частцы вялікага геаграфічнага рэгіёна, які называецца Беларуска-Украінскім Палессем (на беразе ракі Прыпяць — прытока Дняпра, на адлегласці 15 км ад раённага цэнтра Чарнобыль і 140 км ад Кіева). Да аварыі агульная колькасць насельніцтва ў 30-кіламетровай зоне вакол станцыі складала прыблізна 100 000 чалавек, і з іх 12 500 — жыхары Чарнобыля.

Будаўніцтва новага буйнога энергетычнага аб'екта пачалося ў студзені 1970 г. і ажыццяўлялася паэтапна — па два энергаблокі электрычнай магутнасцю 1000 МВт кожны (і дапаможныя збудаванні на пляцоўцы). Энергаблок складаецца з рэактара тыпу РВМК-1000 і двух турбагенератараў магутнасцю па 500 МВт.

У склад ЧАЭС уваходзяць: рэактары і машынныя ўчасткі, сховішча вадкіх і цвёрдых радыеактыўных адходаў, адкрытыя размеркавальныя прылады, газавая гаспадарка, дапаможны корпус з механічнымі майстэрнямі і водахімачысткай, рэзервовыя дызель-генератарныя электрастанцыі, гідратэхнічныя і іншыя збудаванні. Крыніцай тэхнічнага водазабеспячэння першых чатырох энергаблокаў з'яўляецца штучнае вадасховішча (ахаладжальнік) плошчай 22 км^2. Ёсць канал для падвядзення вады з асобнымі помпавымі станцыямі трэцяга і чацвёртага блокаў, а таксама напорны басейн з водазаборнымі збудаваннямі. Нават вельмі няпоўны пералік розных збудаванняў ЧАЭС паказвае, наколькі складанай справай з'яўляецца будаўніцтва такога энергетычнага гіганта.

У 1977 г. ажыццявілі пуск першага энергаблока, у 1978 — другога, у 1981 — трэцяга, у 1983 г. — чацвёртага. Трэба адзначыць, што трэці і чацвёрты энергаблокі ў адрозненне ад першага і другога размяшчаліся не асобна, а ў адным будынку і аддзяляліся адзін ад аднаго толькі ўнутранымі сценамі і службовымі памяшканнямі.

У студзені 1986 г. магутнасць чатырох блокаў станцыі складала 4000 МВт (4 ГВт) і адпавядала праектным параметрам.

На адлегласці 1,5 км ад пляцоўкі ЧАЭС у 1981 г. пачалося будаўніцтва яшчэ двух энергаблокаў магутнасцю 1000 МВт кожны. З пачаткам іх дзеяння станцыя павінна была б дасягнуць запланаванай праектнай магутнасці 6000 МВт.

ПРЫНЦЫП РАБОТЫ ЯДЗЕРНАГА РЭАКТАРА

Ядзерны рэактар — гэта прылада, у якой адбываецца кіруемая рэакцыя падзелу ядзер. Практычнае выкарыстанне ядзернай энергіі зрабілася магчымым дзякуючы адкрыццю рэакцыі падзелу атамных ядзер цяжкіх элементаў (урану або плутонію) пры апраменьванні іх нейтронамі, а таксама стварэнню адмысловых прылад для ажыццяўлення кантралюемай ланцуговай ядзернай рэакцыі (гл. главу 1).

Прыродны уран складаецца з двух ізатопаў — урану-238 (99,3 %) і урану-235 (0,7 %). Асноўнае рэчыва, якое ўдзельнічае ў рэакцыях падзелу ядзер, — гэта уран-235 (пад уздзеяннем звычайных нейтронаў ён амаль не падзяляецца). Каб пачалася рэакцыя, нейтроны трэба папярэдне эфектыўна запаволіць, гэта значыць зменшыць іх энергію. Таму на шляху нейтронаў размяшчаюць адмысловае рэчыва (так званы запавольнік), якое паглынае лішак іх энергіі. Толькі пасля гэтага ў прыродным уране ствараюцца ўмовы, неабходныя для падтрымання ланцуговай рэакцыі падзелу ядзер урану-235.

Ядзерны рэактар пачынае дзейнічаць пры наяўнасці пэўнай колькасці урану і пры адпаведным размяшчэнні яго разам з запавольнікам у прасторы. Тая частка рэактара, у якой знаходзіцца ядзернае паліва і адбываецца кіруемая ланцуговая рэакцыя падзелу ядзер, называецца актыўнай зонай. Кіраванне ланцуговай рэакцыяй у рэактары ажыццяўляецца адмысловымі рухомымі стрыжнямі з рэчываў, якія актыўна паглынаюць нейтроны. Звычайна гэта кадмій або бор. Глыбіня апускання стрыжняў у рэактары змяняецца па камандах з пульта кіравання, што выклікае запавольванне або паскарэнне ходу рэакцыі.

Каб апісаць эфект самападтрымання ланцуговай рэакцыі падзелу ядзер, уводзяць паняцце каэфіцыента размнажэння нейтронаў k. Гэта параметр, які паказвае, у колькі разоў лік нейтронаў у адным пакаленні (гэта значыць на нейкім этапе рэакцыі падзелу ядзер) адрозніваецца ад ліку нейтронаў у папярэднім пакаленні. Пад зменай пакаленняў разумеюць падзел ядзер, пры якім паглынаюцца нейтроны старога

пакалення і нараджаюцца новыя. Калі $k \geq 1$, то лік нейтронаў павялічваецца з цягам часу або застаецца нязменным і адбываецца ланцуговая рэакцыя. Пры поўнасцю ўведзеных у актыўную зону стрыжнях $k < 1$ і рэактар спыняецца, паколькі не стае нейтронаў для падтрымання рэакцыі. Для стацыянарнага ходу ланцуговай рэакцыі k павінен быць роўным 1. Гэтую роўнасць трэба падтрымліваць з вялікай дакладнасцю. Ужо пры $k = 1{,}01$ амаль імгненна адбываецца выбух.

Падчас работы рэактара энергія, атрыманая пры рэакцыі падзелу ядзер, ператвараецца ў велізарную цеплавую плынь і моцна награвае як тыя элементы актыўнай зоны, у якіх непасрэдна вылучаецца цяпло, так і іншыя канструкцыйныя элементы актыўнай зоны. Зразумела, што гэта можа выклікаць пашкоджанні актыўнай зоны. Таму ў рэактарах прадугледжваецца безупыннае адвядзенне цяпла з актыўнай зоны, напрыклад з дапамогай вады, якая цыркулюе па тэхналагічных каналах. Вада, якая пераносіць цяпло ад актыўнай зоны да парасілавых установак, выступае як цепланосьбіт. У якасці цепланосьбіта могуць ужывацца і іншыя рэчывы. Велізарная плынь цяпла награвае ваду да кіпення. Насычаная пара накіроўваецца да дзвюх турбін, якія выпрацоўваюць электраэнергію. У рэшце рэшт атрыманая пры ядзерных рэакцыях энергія ператвараецца ў электрычнасць.

Такім чынам, асноўнымі элементамі ядзернага рэактара з'яўляюцца ядзернае паліва (уран і інш.); запавольнік нейтронаў (графіт, парафін і інш.); цепланосьбіт для адвядзення энергіі, якая ствараецца пры рабоце рэактара (вада і інш.); сістэма кіравання рэактарам (стрыжні з бору і кадмію).

Звонку рэактар абкружаюць ахоўнай абалонкай, якая затрымлівае γ-выпраменьванне і нейтроны.

У былым СССР пры развіцці атамнай энергетыкі спачатку выкарыстоўвалі толькі два віды ядзерных рэактараў (абодва на цеплавых нейтронах — нейтроны з энергіямі ад $5 \cdot 10^3$ да 0,5 эВ). Гэта вода-вадзяныя энергетычныя рэактары (ВВЭР), якія шырока выкарыстоўваліся ў розных рэгіёнах былога СССР, і уран-графітавыя рэактары. Апошні з серыі уран-графітавых — гэта РВМК (рэактар вялікай магутнасці, канальны), у якім запавольнікам з'яўляецца графіт, а цепланосьбітам — вада. Рэактар РВМК-1000 выкарыстоўваецца на некалькіх атамных станцыях: Санкт-Пецярбургскай, Ігналінскай, Смаленскай, Чарнобыльскай, Курскай і інш. Менавіта такога тыпу рэактар ужываўся і на першай у свеце атамна-энергетычнай станцыі, якая пачала працаваць у Обнінску 26 чэрвеня 1954 г. Гэты дзень лічыцца днём нараджэння атамнай энергетыкі ў галіне мірнага выкарыстання ядзернай (атамнай) энергіі. Цеплавая магутнасць РВМК-1000 — 3200 МВт, электрычная — 1000 МВт.

Актыўная зона такога рэактара з'яўляецца вялікім графітавым цыліндрам з вертыкальнымі адтулінамі, у якіх размяшчаюцца тэхналагічныя каналы. Кожны з каналаў утрымлівае 18 элементаў, у якіх адбываецца вылучэнне цяпла, так званых цвэлаў.

Ц в э л — гэта трубка з дзвюма заглушкамі з цырконіевага сплаву дыяметрам 13,5 мм і таўшчынёй 0,9 мм. У ёй размяшчаюцца паліўныя таблеткі з двуокісу урану. Герметызацыя цвэлаў ажыццяўляецца з дапамогай электронна-прамянёвай зваркі.

Цяпер пачынае распаўсюджвацца яшчэ адзін від рэактара — на хуткіх нейтронах. (Хуткія нейтроны — гэта нейтроны з энергіямі больш за 100 эВ.) У былым СССР ужо дзейнічаюць тры рэактары такога тыпу. Раней меркавалася, што да 2000 г. лік іх павялічыцца ў 2 разы. Перавагай рэактараў на хуткіх нейтронах з'яўляецца тое, што яны не толькі выпрацоўваюць электраэнергію, але і ўзнаўляюць ядзернае паліва (напрыклад, плутоній-239). Гэта ў сваю чаргу дазваляе выкарыстоўваць усе наяўныя уранавыя рэсурсы, у тым ліку і уран-238, які не ўжываецца ў рэактарах з цеплавымі нейтронамі.

Вучоныя і спецыялісты актыўна працуюць над стварэннем тэрмаядзернай энергетыкі. Рашэнне праблемы кіруемага тэрмаядзернага сінтэзу дазволіць забяспечыць чалавека энергіяй практычна на неабмежаваны час.

АВАРЫЯ НА ЧАЭС І ЯЕ ПРЫЧЫНЫ

На ЧАЭС трэба было ажыццявіць планавы рамонт рэактара чацвёртага блока пасля трох гадоў яго работы. Аднак перад гэтым адміністрацыя ЧАЭС вырашыла правесці выпрабаванне рэжымаў работы турбагенератара. Гэты эксперымент не адпавядаў патрабаванням тэхнікі бяспекі, адбываўся ў начны час, без належнай падрыхтоўкі і без абавязковага ўзгаднення з адказнымі службамі АЭС. Больш таго, адсутнічаў належны кантроль і не прадугледжваліся дадатковыя меры тэхнікі бяспекі, і таму персанал нічога не ведаў аб магчымай небяспецы. Акрамя вышэйсказанага, меліся адхіленні ад запланаванай праграмы выпрабаванняў, што таксама стварала ўмовы для ўзнікнення аварыйнай сітуацыі. Аператары падчас выпрабавання парушылі адразу некалькі правіл эксплуатацыі. Таму рэактар пачаў працаваць на нізкай магутнасці (200 МВт), пры якой расход цепланосьбіта і варункі ахалоджвання ўжо нельга было стабільна падтрымаць з дапамогай ручнога кіравання. Рэактар працаваў у небяспечным рэжыме. Абслугоўваючы персанал, імкнучыся любой цаной завяршыць выпрабаванні, адключыў некалькі важных сістэм бяспекі, а для павелічэння паменшанай магутнасці

з актыўнай зоны паднялі большасць графітавых стрыжняў. Пры гэтым магутнасць устаноўкі рэзка павялічылася, у актыўнай зоне рэактара стварыўся вялікі аб'ём пары і адначасова рэзка зменшылася адвядзенне цяпла ад актыўнай зоны. Затым пачаліся такія працэсы, як разагрэў ядзернага паліва, бурнае закіпанне цепланосьбіта, рэзкае павелічэнне ціску ў тэхналагічных каналах і ўрэшце цеплавы выбух.

Гэта адбылося 26 красавіка 1986 г. у першай гадзіне ночы. Была разбурана актыўная зона рэактарнай устаноўкі і частка будынка, у якім яна размяшчалася. Адбыўся інтэнсіўны выкід радыеактыўных прадуктаў у навакольнае асяроддзе на вышыню прыблізна 1 км. У разбураны рэактар пранікла паветра, што выклікала гарэнне графіту. Над чацвёртым блокам узляталі гарачыя элементы актыўнай зоны і іскры, частка з іх трапіла на дах машыннага ўчастка. У розных месцах энергаблока з прычыны пашкоджання электракабелю пачаліся пажары.

Аварыя на Чарнобыльскай АЭС — самая буйная і самая цяжкая катастрофа ў свеце за ўсю гісторыю развіцця атамнай энергетыкі. Бяда закранула мільёны людзей, на нашу зямлю прыйшла радыяцыя.

Інфармацыя савецкай дэлегацыі на нарадзе МАГАТЭ ў жніўні 1986 г. зыходзіла з вывадаў урадавай камісіі аб прычынах аварыі на чацвёртым блоку ЧАЭС. Згодна з гэтай інфармацыяй, было выяўлена шэсць найбольш небяспечных парушэнняў рэжыму эксплуатацыі персаналам чацвёртага блока ЧАЭС. Першапрычынай аварыі з'явілася парушэнне парадку і рэжыму эксплуатацыі персаналам энергаблока. Катастрафічныя памеры аварыя набыла ў сувязі з тым, што рэактару надалі такі нерэгламентарны стан, у якім істотна ўзмацніўся ўплыў дадатнага каэфіцыента рэактыўнасці на рост магутнасці.

Газета «Советская Белоруссия» 21 снежня 1991 г. надрукавала матэрыял «Замест Чарнобыля мог быць Курск». У ім паведамлялася, што адмысловая камісія Дзяржаўнага камітэта па наглядзе за бяспечным ходам работы ў прамысловасці і атамнай энергетыцы скончыла незалежнае даследаванне прычын аварыі ў Чарнобылі і зрабіла галоўную выснову — рэактар быў асуджаны. Гэты вывад абвяргае афіцыйную заяву ўрадавай камісіі аб прычынах аварыі.

Як паведаміў старшыня камісіі Дзяржкамітэта Расіі І. Штэйнберг, пры даследаванні канструкцыі РВМК было выяўлена каля дзесяці адхіленняў ад тых правіл тэхнікі бяспекі, якія існавалі ў красавіку 1986 г. У прыватнасці, па меры зносу графітавыя стрыжні, прызначаныя для гашэння ланцуговай рэакцыі падзелу ядзер, пры нязначным адхіленні ад рэгламенту эксплуатацыі рэактара могуць выклікаць адваротны эфект. Гэта і адбылося ў Чарнобылі пры правядзенні эксперымента.

Камісія Дзяржкамітэта зрабіла наступную выснову: «Спалучэнне канструктарскіх памылак, адсутнасць элементарнай «аховы ад дурня», якая часта сустракаецца нават у звычайных бытавых электрапрыладах, і страшэнная легкадумнасць персаналу аб'ядналіся ў адзін паслядоўны ланцужок, які і выклікаў аварыю».

Толькі пасля аварыі на Чарнобыльскай АЭС савецкі друк пачаў змяшчаць інфармацыю аб здарэннях на атамных энергетычных аб'ектах былога СССР. Так, 11 лютага 1990 г. «Известия» надрукавалі зводку «Бяспечнасць АЭС: вынікі мінулага года», у якой адзначаецца колькасць спыненняў энергаблокаў з прычыны памылак персаналу і дэфектаў абсталявання. У 1989 г. у былым СССР на 16 АЭС адбылося 118 пазапланавых спыненняў і 100 пазапланавых разгрузак энергаблокаў. Гэтыя зводкі дазваляюць меркаваць аб якасці эксплуатацыі кожнай станцыі, нядбайнасці кіраўніцтва і персаналу.

Радыеактыўнае забруджванне навакольнага асяроддзя пасля аварыі вызначалася дынамікай радыеактыўных выкідаў і метэаралагічнымі варункамі. Найбольш магутны паветраны струмень радыеактыўных рэчываў назіраўся на працягу першых 2 — 3 сутак пасля аварыі ў паўночным кірунку (на поўдні і часткова на поўначы Гомельскай вобласці, на поўдні Магілёўскай, на невялікай частцы Бранскай, а таксама Кіеўскай і Жытомірскай абласцей). Гэта тэрыторыя, разам з часткай Чарнігаўскай вобласці, абазначаецца як раён жорсткага кантролю. Цяпер тут пражывае каля мільёна чалавек. Узроўні радыяцыі ў паветраным струмені (на вышыні 200 м) на адлегласці 5 — 10 км ад месца аварыі 27 красавіка дасягнулі 1000 мР/гадз, а 28 красавіка — 500 мР/гадз.

Прадукты ядзерных рэакцый пачалі расплаўляцца, кіпець і вылятаць у паветра ў выглядзе найдрабнейшых часцінак, якія ўтрымлівалі радыеактыўныя атамы. Больш буйныя асядалі бліжэй; самыя ж лёгкія ў выглядзе аэразолю разносіліся паветранымі плынямі. Яны асядалі на дрэвах, глебе, водных паверхнях і самае страшнае — удыхаліся чалавекам.

Актыўнасць вылецеўшых з пашкоджанага блока прадуктаў падзелу па стане на 26 красавіка 1986 г. складала 20 — 33 МКы, 6 мая (калі выкід радыеактыўнасці ў асноўным спыніўся) — 0,1 МКы. У канцы ж мая актыўнасць складала 20 Кы ў суткі.

Склад радыенуклідаў пры аварыйным выкідзе прыблізна адпавядаў іх складу ў паліве пашкоджанага рэактара і адрозніваўся ад яго павялічаным утрыманнем лятучых прадуктаў падзелу (ёду, тэлуру, цэзію, інертных газаў і да нейкай ступені — рутэнію). Нуклідны склад выкіду прыведзены ў табл. 16.

Табл. 16. **Адноснае ўтрыманне прадуктаў падзелу ў аварыйным выкідзе па стане на 6 мая 1986 г. ***

Радыенуклід	Утрыманне прадуктаў падзелу, вылецеўшых з рэактара, %	Радыенуклід	Утрыманне прадуктаў падзелу, вылецеўшых з рэактара, %
Ксенон-133	Магчыма 100	Цэрый-141	2,3
Крыптон-85	« 100	Цэрый-144	2,8
Крыптон-86	« 100	Хром-89	4,0
Ёд-131	20	Хром-90	4,0
Тэлур-132	15	Плутоній-238	3,0
Цэзій-134	10	Плутоній-239	3,0
Цэзій-137	13	Плутоній-240	3,0
Малібдэн-99	2,3	Плутоній-241	3,0
Цырконій-95	3,2	Плутоній-242	3,0
Рутэній-103	2,9	Кюрый-242	3,0
Рутэній-106	2,9	Нептуній-239	3,2
Барый-140	5,6		

*Атамная энергія. 1986. Т. 61. Вып. 5. С. 317.

У першыя хвіліны пасля аварыі найбольшую пагрозу для здароўя людзей уяўлялі ізатопы так званых высакародных (рэдкіх) газаў: крыптон, ксенон і інш. У далейшым асабліва хваляванне медыкаў выклікалі выпаўшыя на зямлю кароткачасовыя ізатопы. Асноўную частку іх складаў ёд-131. Ён мае вялікую актыўнасць і небяспечны тым, што перадаецца па харчовых ланцужках, хутка засвойваецца і збіраецца ў арганізме чалавека. Таму ў першыя гадзіны пасля аварыі неабходна было ажыццявіць экстранную масавую ёдную прафілактыку, але яна, на жаль, мела месца не ўсюды і не на належным узроўні. Насельніцтва Беларусі, якому сродкі масавай інфармацыі не паведамілі аб трагедыі, што адбылася, і аб набліжэнні радыеактыўнага воблака да Мінска і іншых гарадоў, працягвалі жыць спакойна. Аднак чуткі аб страшнай бядзе прымусілі людзей прымаць ёдныя прэпараты, прычым дозу і час яны вызначалі самі.

Пасля распаду асноўнай часткі радыеактыўнага ёду ўвага медыкаў пераключылася на плутоній, які належыць да даўгавечных (T = 24 390 гадоў) і небяспечны для лёгкіх. Часцінкі, якія ўтрымлівалі плутоній, па сваіх памерах затрымліваліся рэспіратарамі.

Наступнай праблемай для медыкаў былі радыеактыўныя ізатопы стронцыю і цэзію. Іх наяўнасць на той ці іншай мясцовасці сёння выклікае неабходнасць правядзення дадатковых дэзактывацыйных работ, а таксама ўплывае на рашэнне пытанняў рээвакуацыі насельніцтва.

Сумарная актыўнасць аварыйных выкідаў ацэньваецца ў больш чым 50 млн кюры, або састаўляе каля 3,5 % агульнай актыўнасці прадуктаў ядзернага падзелу ў рэактары на момант аварыі; большасць гэтых рэчываў прыпадае на Рэспубліку Беларусь.

ГЛАБАЛЬНАЕ ЗАБРУДЖВАННЕ РАДЫЕАКТЫЎНЫМІ ВЫКІДАМІ ЧАЭС

У адпаведнасці з метэаралагічнай сітуацыяй распаўсюджванне радыеактыўнага забруджвання паветраных патокаў першапачаткова адбывалася ў паўночна-заходнім, паўночным і паўночна-ўсходнім кірунках на АЭС, а затым (трохі менш) на працягу некалькіх дзён — у паўднёвым кірунку (у бок Кіева).

Паветраны перанос радыеактыўнасці ў адпаведнасці з кірункам і хуткасцю вятроў потым меў месца на значнай частцы тэрыторыі Беларусі, Украіны і Расіі. Ёсць плямы забруджвання на значнай тэрыторыі ў Краснадарскім краі, у раёне Сухумі і ў Прыбалтыцы, а таксама за межамі былога СССР. Пасля перамяшчэння праз тэрыторыю СССР радыеактыўныя прадукты 26 — 27 красавіка 1986 г. дасягнулі Польшчы, Фінляндыі і Швецыі. Моцныя дажджы 30 красавіка і 1 мая абумовілі радыеактыўнае выпаданне ў паўднёвай частцы Францыі, Швейцарыі, Аўстрыі, Венгрыі і Чэхіі. У далейшым забруджаныя паветраныя масы дасягнулі Галандыі, Вялікабрытаніі, прайшлі праз тэрыторыю былой Югаславіі, Італіі і Грэцыі. Павелічэнне радыеактыўнага фону адзначалася таксама ў Кітаі, Японіі, Індыі, Канадзе і ЗША.

Асноўны выкід за межы былога СССР абумоўлены радыенуклідамі, якія паступілі ў атмасферу ў першыя паўтара дні пасля аварыі*. На спецыяльнай сесіі Генеральнай канферэнцыі МАГАТЭ, якая адбывалася з 24 па 26 верасня 1986 г., было падкрэслена, што перанос радыеактыўнасці з Чарнобылю за межы СССР быў нязначны. Ні на якім этапе пасля аварыі ўзровень радыяцыі за межамі былога СССР не перавышаўся да такой ступені, якая б патрабавала прымаць якія-небудзь асаблівыя меры для аховы насельніцтва**.

Тым не менш відавочны той факт, што пры аварыях на аб'ектах ядзернай энергетыкі радыеактыўныя выкіды не ведаюць нацыянальных межаў. Таму першачарговае значэнне мае пытанне аб неабходнасці міжнароднага супрацоўніцтва з мэтай прадухілення аварый і ліквідацыі іх вынікаў.

У жніўні 1986 г. у Вене адбылася нарада экспертаў МАГАТЭ, якая абмеркавала інфармацыю савецкай дэлегацыі (кіраўнік акад. В. А. Легасаў) аб чарнобыльскай аварыі і даклад міжнароднай кансультатыўнай групы па ядзернай бяспецы. Нарада распрацавала

---

* Физико-химическое моделирование регионального переноса в атмосфере радиоактивных веществ в результате аварии на ЧАЭС // Метеорология и гидрология. 1989. № 9. С. 9.

** Атом станет более безопасным // Новое время. 1986. № 40. С. 9.

і зацвердзіла тэксты дзвюх міжнародных канвенцый: «Аб аператыўным паведамленні аб ядзернай аварыі» і «Аб дапамозе ў выпадку ядзернай або радыяцыйнай аварыйнай сітуацыі».

ФАРМІРАВАННЕ РАДЫЯЦЫЙНАЙ СІТУАЦЫІ Ў БЫЛЫМ СССР

З 26 красавіка па 10 мая 1986 г. у адпаведнасці з прыроднымі варункамі адбывалася фарміраванне зоны радыеактыўных выпаданняў на тэрыторыі былога СССР. Адрозніваюць фарміраванне блізкіх, сярэдніх і далёкіх зон радыеактыўнага забруджвання. Адлегласць ад ЧАЭС для блізкіх зон — гэта дзесяткі, для сярэдніх — сотні і для далёкіх — тысячы кіламетраў.

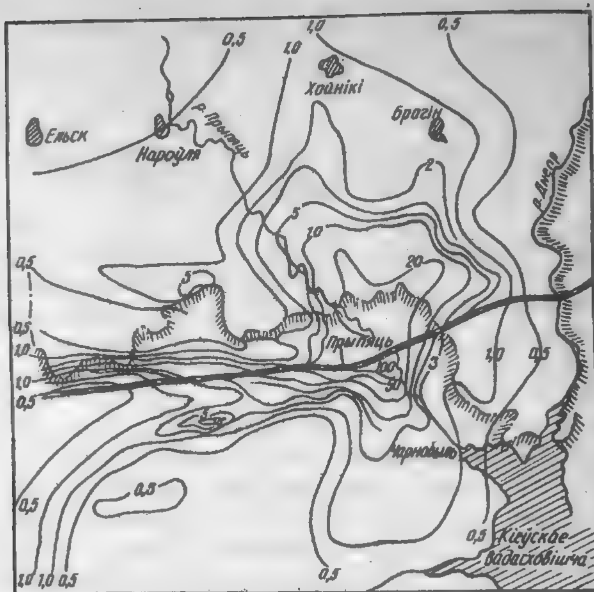
Паколькі аварыйны рэактар адносна працяглы час (каля 14 сутак) з'яўляўся магутнай крыніцай выкідаў радыеактыўных рэчываў у атмасферу, карціна забруджвання тэрыторыі як па ўзроўні асеўшай радыеактыўнасці, так і па радыеактыўным складзе мела складаны характар з прычыны змянення з часам прыродных варункаў, вышыні і інтэнсіўнасці выкіду. У прыватнасці, адзначалася забруджванне асобных участкаў тэрыторыі.

Характар забруджвання атмасферы і мясцовасці першапачаткова быў скачкападобным, прычым на працягу нязначнага часу назіралася рэзкае павелічэнне актыўнасці выпаданняў да значэнняў, якія ў шэрагу месцаў перавышалі тое, што адзначалася ў папярэдні дзень. Гэта стварала пэўныя цяжкасці ў вызначэнні нейкага тыповага радыенукліднага складу, радыеактыўных дамешкаў у паветры і на забруджанай тэрыторыі, што ў сваю чаргу перашкаджала прагнастычнай ацэнцы магчымага ўзроўню апраменьвання насельніцтва.

Абумовіўшы радыеактыўнае выпаданне на паверхні зямлі ў перыяд з 26 па 30 красавіка 1986 г., можна было вызначыць блізкую зону следу (рыс. 13), а да 10 мая — далёкую.

Да 11 мая ўся радыеактыўнасць асела на паверхні зямлі і наземныя аб'екты. Радыяцыйная сітуацыя стабілізавалася. Аднак гэта не азначала, што ўзроўні радыяцыі на дадзенай тэрыторыі ў далейшым не змяняліся. На забруджаных тэрыторыях адбывалася так званае другаснае пераразмеркаванне актыўнасці (ветравыя пераносы, змыванні пасля атмасферных ападкаў і інш.). Таму на тэрыторыі аднаго населенага пункта калі-нікалі можна было выявіць як «чыстыя» ўчасткі, так і моцна забруджаныя.

Забруджванне радыенуклідамі мела месца ў той ці іншай ступені для 14 абласцей былога СССР з колькасцю насельніцтва 17 млн чалавек, з іх 2,5 млн — гэта дзеці да 5 гадоў. На рыс. 14 змяшчаецца

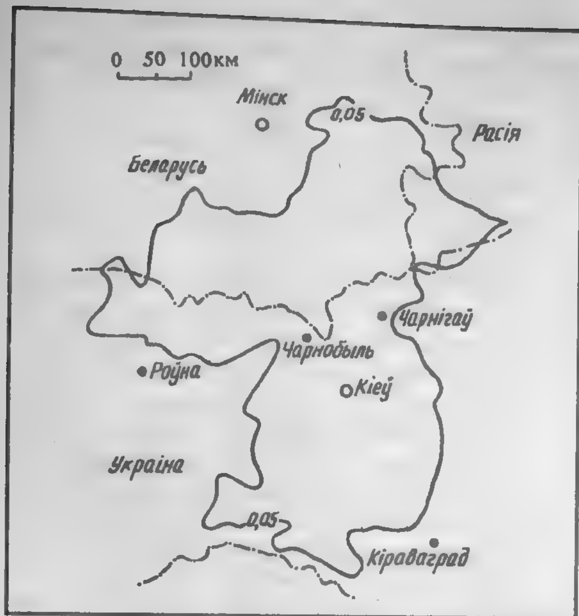


Рыс. 13. Карта γ-поля (мР/гадз) па стане на 29 мая 1986 г. (Радиоактивное загрязнение природных средств в зоне аварии на ЧАЭС // Метрология и гидрология. 1987. № 2. С. 7)

карта размеркавання ўзроўняў радыяцыі па стане на 10 чэрвеня 1986 г. па даных самалётнага гама-здымання.

Значнае радыеактыўнае забруджванне тэрыторый, што мяжуюць з АЭС, прымусіла прымаць такія неабходныя меры, як стварэнне кантраляваных зон, эвакуацыя насельніцтва і інш. Было вырашана ўвесці тры кантраляваныя зоны — адмысловую (у асноўным тэрыторыю прампляцоўкі), 10- і 30-кіламетровыя. У гэтых зонах ажыццяўляўся строгі дазіметрычны кантроль, разгортваліся пункты дэзактывацыі транспарту (з мэтай змяншэння кантактнага пераносу радыеактыўных рэчываў на межах зон людзей перасаджвалі з адных транспартных сродкаў у другія).

У сувязі з пагаршэннем радыяцыйнай сітуацыі ўрадавая камісія прыняла рашэнне эвакуіраваць насельніцтва з 10-кіламетровай, а затым і 30-кіламетровай зоны вакол Чарнобыльскай АЭС. Эвакуацыя з 10-кіламетровай зоны працягвалася адны суткі — 2 мая. 4 мая пачалася паэтапная эвакуацыя насельніцтва з 30-кіламетровай зоны на тэрыторыі Украіны і Беларусі. Яна адбывалася на працягу некалькіх дзён.



Рыс. 14. Размеркаванне γ-выпраменьвання па ўзроўні магутнасці дозы 0,05 мР/гадз на 10 чэрвеня 1986 г.

У выпадку пагрозы радыеактыўнага забруджвання раёнаў, што мяжуюць з АЭС, у дзеянне ўводзіцца спецыяльны план ахоўных мерапрыемстваў, які пры неабходнасці ўлічвае і эвакуацыю насельніцтва.

Пасля аварыі на ЧАЭС вакол яе стварылі 30-кіламетровую зону. На геаграфічнай карце яна выглядае хутчэй як пляма неправільнай формы плошчай больш за 2,8 тыс. км^2, радыусам 30 км. У яе ўваходзяць рэкі, азёры, лясы, населеныя пункты з сельскагаспадарчымі ўгоддзямі, прамысловыя прадпрыемствы, транспартныя магістралі. Спецыялісты лічаць гэтую зону небяспечнай для пражывання людзей з прычыны забруджвання выкідамі радыеактыўных прадуктаў з разбуранага рэактара.

У далейшым радыяцыйная сітуацыя запатрабавала эвакуацыі насельніцтва з некаторых населеных пунктаў, якія размяшчаліся па-за межамі 30-кіламетровай зоны. Усяго ў той перыяд было эвакуіравана 116 тыс. чалавек з зоны вакол ЧАЭС, другіх тэрыторый Украіны і Беларусі, а таксама Бранскай вобласці РФ.

Тэрыторыі, з якіх пасля аварыі на ЧАЭС высялілі жыхароў, называюцца «зонай адсялення», а найбольш заражаныя ўчасткі вылучаны ў так званую «зону поўнага адчужэння». Яна знята з

гаспадарчага выкарыстання і агароджана. Большая частка выкінутых з разбуранага рэактара радыенуклідаў на гэтай тэрыторыі распалася на працягу некалькіх месяцаў пасля аварыі і ўжо не з'яўляецца небяспечнай.

РАДЫЯЦЫЙНАЯ СІТУАЦЫЯ НА ТЭРЫТОРЫІ РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ

У нашай рэспубліцы пасля чарнобыльскай аварыі радыеактыўнае забруджванне мае месца на 18 % тэрыторыі (1623 тыс. га). Агульная плошча забруджвання ў пяці з шасці абласцей рэспублікі (у якіх размяшчаюцца 27 гарадоў і 2697 населеных пунктаў) складае 40 тыс. км^2, адпаведная колькасць насельніцтва — больш за 2 млн. Гэта чацвёртая частка насельніцтва Беларусі.

За 1986 — 1991 гг. выканана велізарная работа па абследаванні забруджвання тэрыторыі рэспублікі. Выяўлена складаная радыяцыйная сітуацыя, абумоўленая маштабнасцю і нераўнамернасцю радыеактыўных выпаданняў, вызначана разнастайнасць крыніц фарміравання доз апраменьвання насельніцтва. Вылучаны дзве асноўныя плямы: паўднёвая (поўдзень Гомельскай вобласці) і паўночная (поўнач Гомельскай вобласці, а таксама раёны Магілёўскай, Брэсцкай, Гродненскай і Мінскай абласцей).

Найбольш забруджаная тэрыторыя рэспублікі — поўдзень Гомельскай вобласці. Тут назіраліся асабліва вялікія дозы γ-апраменьвання ў першыя дні пасля аварыі (за кошт выпадзення кароткачасовых ізатопаў ёду і іншых радыенуклідаў, а таксама цэзію, стронцыю і плутонію). Найбольш забруджаныя тэрыторыі Хойніцкага, Брагінскага і Нараўлянскага раёнаў.

Ацэнкай радыяцыйнай сітуацыі ў рэспубліцы супрацоўнікі Інстытута ядзернай энергетыкі АН Рэспублікі Беларусь пачалі займацца 28 красавіка 1986 г., як толькі служба радыяцыйнай бяспекі інстытута зафіксавала ў Мінску рэзкае павелічэнне магутнасці дозы да 2500 — 2800 мкР/гадз* (нармальны прыродны фон 20 мкР/гадз). Такі вялікі ўзровень радыяцыі выклікала радыеактыўнае ёднае воблака (ізатопаў ёду з разбуранага рэактара выкінута нашмат больш, чым усіх іншых). Для аховы здароўя насельніцтва адпаведныя органы ўлады павінны былі неадкладна пачаць прафілактычныя мерапрыемствы. На жаль, ніякіх прафілактычных мер не ажыццяўлялася. Людзі не ведалі, што на ЧАЭС адбылася катастрофа, і працягвалі хадзіць пад даждждом на працу без парасонаў. На вуліцах

---

* В. Нестеренко. Хроника чернобыльских событий // Родник. 1990. № 7. С. 6.

гарадоў гандлявалі садавінай і агароднінай, сокамі і марожаным. Адбыліся масавыя гулянні, прысвечаныя святам 1 і 9 мая. Праз сродкі масавай інфармацыі (радыё, тэлебачанне, газеты) кіраўнікі рэспубліканскага Міністэрства аховы здароўя заклікалі не панікаваць, працягваць свой адпачынак, выязджаць за горад, у лес, загараць, паколькі, на іх думку, нічога сур'ёзнага не адбылося. Не ажыццяўлялася і ёдная прафілактыка.

Таму паступленне ў арганізм чалавека радыенуклідаў і ёду ў першыя месяцы пасля аварыі выклікала фарміраванне значных дозавых нагрузак на шчытападобную залозу. Нават у жыхароў Мінска, які знаходзіцца на адлегласці 240 км ад Чарнобыля, індывідуальныя дозы апраменьвання шчытападобнай залозы па вымярэннях у чэрвені — жніўні 1986 г. калі-нікалі складалі ад 0,4 да 1,5 Зв.

Найбольшыя дозы апраменьвання шчытападобнай залозы атрымалі тыя жыхары Хойніцкага раёна Гомельскай вобласці, якіх адсялілі да 5 мая 1986 г. Сярэдняя доза для дарослых складала 159 сГр, для дзяцей і падлеткаў — 310 сГр. Вялікія дозы, у сярэднім 469 сГр, атрымалі дзеці 0 — 6 гадоў, а 5 % дзяцей мелі дозы звыш 1000 сГр. Крыху менш атрымалі тыя жыхары, якіх адсялілі з Нараўлянскага і Брагінскага раёнаў, а таксама неадселеныя з Хойніцкага, Брагінскага, Веткаўскага і шэрага іншых раёнаў Гомельскай, Магілёўскай і Брэсцкай абласцей.

Вучоныя Беларусі, якія ў маі 1986 г. даследавалі ўплыў чарнобыльскай аварыі на радыеактыўнасць мінскай глебы, вызначылі наступныя сярэднія значэнні актыўнасцей: γ — 1036 Бк/кг, β — 2146 Бк/кг.

Больш значнае выпаданне радыенуклідаў назіралася вакол штучных вадаёмаў, вадасховішчаў ракі Свіслач, а таксама на тэрыторыях Заводскага і Партызанскага раёнаў, у якіх размяшчаецца шмат прамысловых прадпрыемстваў. У першым выпадку прычыну бачылі ў выпарванні вадзяной пары, якая пры сваёй канцэнтрацыі над вадаёмамі паглынала радыеактыўныя аэразолі і садзейнічала іх выпаданню на зямлю. У другім — прычынай з'яўляецца тэхнагенны фактар (прамысловасць, транспарт, будаўніцтва). Пры іх функцыяніраванні ў паветры ствараецца лішак пылу, да якога прыліпаюць радыенукліды і затым асядаюць на зямлю.

Апроч таго, у некаторых пунктах Мінска ў 1986 г. з цягам часу змянілася дынаміка радыеактыўнасці. У табл. 17 прыведзены даныя па адным з такіх пунктаў у раёне АН Рэспублікі Беларусь.

Адпаведна даным табл. 17, значэнні γ- і β-актыўнасці паступова змяншаліся. Павелічэнне радыеактыўнасці глебы ў маі сведчыць аб многаразовых выкідах пры аварыі на ЧАЭС. Пад канец кастрычніка 1986 г. радыеактыўнасць дасягнула фонавых значэнняў.

Табл. 17. **Змяненне радыеактыўнасці ў паверхневым пласце глебы ў адным з пунктаў Мінска з мая па кастрычнік 1986 г.***

Дата	Актыўнасць, · 37 Бк/кг	
	γ	β
7 мая	6549	3552
11 мая	3600	1961
16 мая	2775	1416
22 мая	3848	1480
11 чэрвеня	1554	999
4 ліпеня	1443	777
20 кастрычніка	74	370

* Влияние аварии на ЧАЭС на радиоактивность почв г. Минска // Докл. АН БССР. 1990. Т. 34. № 8. С. 744 — 747.

Для насельніцтва, якое пражывае на забруджанай тэрыторыі, асноўным фактарам радыяцыйнага ўздзеяння з'яўляецца вонкавае апраменьванне радыеактыўнымі рэчывамі, што аселі на паверхню зямлі. Безумоўна, нельга не ўлічваць і інгаляцыйны шлях паступлення радыеактыўных рэчываў падчас праходжання воблака.

Шчыльнасць выпадання найбольш істотных радыенуклідаў звязана з узроўнямі радыяцыі на мясцовасці. Гэта паказваюць наступныя даныя. Пры ўзроўні радыяцыі 1 мР/гадз (на вышыні 1 м ад зямлі) у сярэднім шчыльнасць забруджванняў ацэньвалася так: ёд-131 — 555 кБк/м^2 (15 Кы/км^2) (T = 8 сутак, β-, γ-выпраменьвальнік); цэзій-137 — 5 (T = 30,2 года, β-, γ-выпраменьвальнік).

Утрыманне ёду-131 у пробах паветра і глебы вагалася ад 8 да 40 % радыеактыўнага складу, цэзію-137 — ад 1 да 20 %. Але мелі месца і выпадкі вельмі вялікай удзельнай вагі (да 50 %) радыенуклідаў цэзію ў сумарнай актыўнасці (так званыя «цэзіевыя плямы»).

На першым этапе пасля аварыі асноўны ўклад у дозу зрабілі ізатопы ёду. З радыеактыўным струменем з рэактара выдзелілася некалькі такіх ізатопаў.

Ізатопы ёду-132 (T = 2,3 гадз) і ёду-134 (T = 52,6 хв) практычнага значэння не маюць, паколькі адпаведна праз 20 і 10 гадзін іх актыўнасць змяншаецца ў 1000 разоў. Што ж тычыцца ізатопаў ёду-133 (T = 20,3 гадз) і ёду-135 (T = 6,6 гадз), то іх актыўнасць безупынна змяняецца з часам. Асаблівае месца займае ёд-131, які быў выкінуты ў вялікай колькасці і дзякуючы сваёй лятучасці апынуўся на значных тэрыторыях. Ён з'яўляецца крыніцай пераапраменьвання шчытападобнай залозы жыхароў гэтых тэрыторый.

Пры ацэнцы доз, атрыманых насельніцтвам у сувязі з аварыяй на ЧАЭС, вылучаюць два перыяды: «ёднай небяспекі» і «цэзіевы».

Перыяд «ёднай небяспекі» працягваўся з моманту аварыі прыблізна два месяцы. За гэты час адбылося апраменьванне шчытападобнай залозы ў 1,5 млн чалавек, у тым ліку ў 160 тыс. дзяцей.

Пасля 10 перыядаў паўраспаду актыўнасць ёду змяншаецца ў 1000 разоў, таму ў канцы чэрвеня 1986 г. перыяд «ёднай небяспекі» практычна скончыўся.

«Цэзіевы» перыяд будзе працягвацца шмат гадоў з прычыны вялікага перыяду яго паўраспаду. Гэта адна з прычын трывогі значнай часткі насельніцтва, паколькі гама-кванты цэзію фарміравалі і фарміруюць дозу вонкавага і ўнутранага апраменьвання чалавека. Унутранае апраменьванне гэтым ізатопам абумоўлена паступленнем яго з ежай (малако, хлеб, агародніна).

Пры шчыльнасці забруджвання глебы, роўнай 37 кБк/м^2 (1 Кы/км^2), чаканая максімальная доза ўнутранага апраменьвання насельніцтва ацэньвалася так: за першы год пасля аварыі — 6,2 мЗв, за другі — 2,9 мЗв (з улікам асаблівасцей харчавання насельніцтва). Пры ўтрыманні 1,73 МБк (6,6 мкКы) цэзію-137 у арганізме на працягу года ствараецца доза ў 10 мЗв. На шчасце, мы можам кіраваць утрыманнем цэзію-137 у прадуктах. Пры перапрацоўцы малака цэзій пераходзіць у масла (1 — 2 %), смятану і сыры (да 10 %), тварог (да 20 %).

Шчыльнасць забруджвання глебы радыеактыўнымі рэчывамі на ўсходнім кірунку паўднёвай плямы рэзка змяншаецца і ўжо (на сакавік 1990 г.) на мяжы 30-кіламетровай зоны не перавышае 185 кБк/м^2 (5 Кы/км^2). У заходнім кірунку паўднёвай плямы радыеактыўнае забруджванне змяншаецца вельмі павольна: у Ельскім і Лельчыцкім раёнах выяўлены тэрыторыі са шчыльнасцю забруджвання цэзіем-137 да 630 кБк/м^2 (да 17 Кы/км^2).

Асабліва забруджаны раёны паўночнай плямы Гомельскай вобласці — Добрушскі, Веткаўскі, Чачэрскі, Кармянскі, Буда-Кашалёўскі (утрыманне цэзію-137 у глебе складае 2220—2660 кБ/м^2, або 60—72 Кы/км^2); Магілёўскай вобласці — Касцюковіцкі (максімальнае ўтрыманне цэзію-137 у глебе Новаельні —3400 кБк/км^2), Чэрыкаўскі, Краснапольскі, Слаўгарадскі, Клімавіцкі, Быхаўскі (максімальнае ўтрыманне цэзію-137 з пяці раёнаў — в. Чудзяны — 6400 кБк/м^2, ці 146,5 Кы/км^2).

Плямы з нязначным забруджваннем глебы цэзіем-137 выяўлены ў Гродненскай, Мінскай і Брэсцкай абласцях. У Гродненскай вобласці забруджванне глебы па цэзію не перавышае 185 кБк/м^2 (5 Кы/км^2); у Мінскай — 185—555 кБк/м^2 (5—15 Кы/км^2) —

Валожынскі і Салігорскі раёны; у Брэсцкай — 185—370 кБк/м^2 (5—10 Кы/км^2) — Лунінецкі, Пінскі і Столінскі раёны.

Плошча забруджвання глебы цэзіем-137 па тэрыторыі рэспублікі прыведзена ў табл. 18.

Табл. 18. **Забруджванне цэзіем-137 тэрыторыі Рэспублікі Беларусь***

Паказчыкі	Узровень забруджвання цэзіем-137, Кы/км^2			
	1 — 5	5 — 15	15 — 40	40 і больш
Плошча забруджвання, км^2	22701	10258	4603	2480
Колькасць насельніцтва, тыс. чалавек	1263,7	267,4	95,6	9,4
Колькасць населеных пунктаў	1476	929	330	69

* Рациональная обстановка на территории Белорусской ССР // Советская Белоруссия. 1990. 7 мая.

З даных табл. 18 вынікае, што большая частка тэрыторыі (22 701 км^2) забруджана цэзіем-137 з узроўнем 37—185 кБк/м^2 (1—5 Кы/км^2). У 69 населеных пунктах назіраецца дастаткова вялікі ўзровень забруджвання глебы — 1480 кБк/м^2 (40 Кы/км^2) і больш. Гэта зона абавязковага адсялення насельніцтва. Патрэбна яшчэ шмат часу, каб забруджаная тэрыторыя набыла нармальны радыяцыйны фон, гэта значыць такі, які не шкодзіць здароўю і да якога чалавек адаптаваўся б.

Асаблівасцю фарміравання доз у насельніцтва, якое пражывае на радыеактыўна забруджаных тэрыторыях, з'яўляецца вонкавае і ўнутранае апраменьванне за кошт даўгавечнага радыенукліда цэзію ў дадатак да сфарміраваных доз ранняга этапу, якія, як ужо адзначалася, утрымліваюць апраменьванне шчытападобнай залозы.

У насельніцтва, якое пражывае на тэрыторыі са шчыльнасцю забруджвання 555 – 1480 кБк/м^2 (15 – 40 Кы/км^2), з моманту аварыі сфарміраваны дозы агульнага апраменьвання ў сярэднім 0,05—0,06 Зв, са шчыльнасцю 185—555 Кбк/м^2 (5—15 Кы/км^2) — 0,025—0,035.

Найбольш вялікія сярэднія дозы мелі ўдзельнікі ліквідацыі вынікаў аварыі на ЧАЭС. У 30 % удзельнікаў выяўлена доза апраменьвання ўсяго цела 0,05—0,1 Зв, у 47 % — 0,1—0,25 і ў 7,3 % — 0,25—0,5 Зв.

Па рэспубліцы для жыхароў 1111 населеных пунктаў ёсць наступная ацэнка эфектыўнай дозы (ЭД) за 1991 г. У жыхароў, якія пражываюць у зоне адсялення на тэрыторыях са шчыльнасцю забруджвання глебы цэзіем-137 больш за 555 кБк/м^2 (больш за 15 Кы/км^2), ЭД склала ў сярэднім 3,6 мЗв (1,5—9 мЗв) — Гомельская вобласць і 3 мЗв (2,1 — 6,4 мЗв) — Магілёўская вобласць; са шчыльнасцю забруджвання глебы цэзіем-137 менш за 555 мБк/м^2 (менш за 15 Кы/км^2), дзе апраменьванне насельніцтва можа перавысіць 5 мЗв, ЭД выяўлена ў жыхароў трох раёнаў Гомельскай вобласці: Забалоцкага (7 мЗв), Ельскага (6,7 і 5,3 мЗв) і Лельчыцкага (7,3 мЗв).

Для насельніцтва Гомельскай і Магілёўскай абласцей, якое пражывае на тэрыторыях са шчыльнасцю забруджвання глебы цэзіем-137 больш за 56 кБк/м^2 (больш за 1,5 Кы/км^2), сумарная ЭД за 1991 г. склала 0,3 — 0,9 мЗв.

У выніку аналізу радыяцыйнай сітуацыі ў рэспубліцы пасля аварыі на ЧАЭС вылучаны асноўныя сістэмы рызыкі і вызначаны кірункі магчымага фарміравання паталогіі.

Асаблівую трывогу выклівае павелічэнне захворвання ракам шчытападобнай залозы ў дзяцей. За перыяд пасля аварыі ў параўнанні з дааварыйнай пяцігодкай лік хвароб ракам шчытападобнай залозы ў дзяцей (на 100 000 дзіцячага насельніцтва) павялічыўся амаль у 7 разоў па рэспубліцы і ў 19 разоў па Гомельскай вобласці. Усяго са студзеня 1990 г. па май 1991 г. дыягнаставаны 51 выпадак раку шчытападобнай залозы ў дзяцей, з іх 29 (57 %) — у жыхароў Гомельскай вобласці.

Па даных Рэспубліканскага канцэр-рэгістра, штогод павялічваецца колькасць выпадкаў захворвання злаякаснымі пухлінамі пераважна за кошт раку шчытападобнай залозы ў дарослага насельніцтва. Існуюць выразныя адрозненні ў частаце раку ў да- і пасляаварыйным перыядах для асобных раёнаў Гомельскай і Магілёўскай абласцей. У пасляаварыйны перыяд (1986 — 1990) самыя вялікія сярэднія паказчыкі захворвання злаякаснымі новаўтварэннямі ўсіх лакалізацый мелі месца ў Магілёўскім (362 на 100 000 жыхароў), Слаўгарадскім (332), Чавускім (317), Шклоўскім (344), Бабруйскім (408) раёнах Магілёўскай вобласці і Брагінскім (311), Добрушскім (312), Буда-Кашалёўскім (292) — Гомельскай.

ЧАСОВА ДАПУШЧАЛЬНЫЯ ЎЗРОЎНІ АПРАМЕНЬВАННЯ

Пасля Чарнобыльскай катастрофы ўзнікла пытанне аб радыяцыйных нормах на сельскагаспадарчую прадукцыю. Ніякіх пастаянных нормаў утрымання радыеактыўных рэчываў у прадуктах харчавання не існуе. Гэта зразумела, паколькі радыеактыўнасць сельгаспрадукцыі залежыць ад утрымання радыенуклідаў у глебе, а яно ў розных месцах адрозніваецца ў дзесяткі разоў. Апроч таго, сумарная колькасць радыенуклідаў, якія атрымліваюць жыхары з прадуктамі харчавання, істотна залежыць ад рацыёну харчавання і індывідуальных асаблівасцей жывога арганізма.

Пры спажыванні прадуктаў харчавання мясцовай вытворчасці (расліннага і жывёльнага паходжання) магчыма і ўнутранае апраменьванне з прычыны паступлення радыеактыўных рэчываў, якія ўтрымліваюцца ў гэтых прадуктах (асабліва ізатопамі ёду-131 пры спажыванні малака ад жывёлы, якая пасвіцца на заражаных землях).

З мэтай абмежавання паступлення ёду ў арганізм людзей, якія пражываюць на забруджаных тэрыторыях, часова ўводзіліся дапушчальныя ўзроўні ўтрымання радыеактыўнага ёду для малака і малочных прадуктаў. Аналагічныя меры прымаліся па абмежаванні паступлення ў арганізм разам з прадуктамі харчавання і цэзію-137.

Пасля выкіду чарнобыльскай радыеактыўнасці ў атмасферу значная частка насельніцтва знаходзілася пад уздзеяннем доз, якія ў шмат разоў перавышалі тое, што дапушчальна нават для прафесіяналаў. Частку жыхароў эвакуіравалі, а для іншых вызначылі дапушчальныя ўзроўні сумарнага вонкавага і ўнутранага апраменьвання.

У зоне жорсткага кантролю (г. зн. на тэрыторыі, дзе адзначаўся ўзровень дозы 3 — 5 мР/гадз) дапускалася пражыванне насельніцтва, але ўводзіліся абмежаванні на выкарыстанне мясцовых прадуктаў харчавання і кантроль за станам здароўя.

У адпаведнасці з мясцовай радыяцыйнай сітуацыяй для насельніцтва вызначылі часовыя нарматывы: у першы год 100 мЗв, а ў наступныя да 1 студзеня 1990 г. — 30 і 25 мЗв. Пры гэтых дозавых граніцах і з улікам часткі радыеактыўнасці ў рацыёне харчавання НКРА разлічыла часовыя дапушчальныя ўзроўні (ЧДУ) канцэнтрацыі радыенуклідаў для вады і асноўных прадуктаў (табл. 19).

Табл. 19. **Часовыя дапушчальныя ўзроўні ўтрымання цэзію-134 і цэзію-137 у прадуктах харчавання і пітной вадзе**

Прадукты	1988 г.	1990 — 1992 гг.
	Бк/кг (Бк/л)	Бк/кг (Бк/л)
Вада пітная	18,5	18,5
Малако, смятана, тварог, сыр	370	185
Малако сухое	1850	740
Масла сметанковае, малако згушчанае	1100	370
Мяса (бараніна, свініна), птушка, рыба, яйкі, мясныя і рыбныя прадукты	1850	592
Ялавічына	2960	592
Маргарын, тлушч раслінны і жывёльны	370	185
Бульба, агародніна, ягады, садавіна, сталовае зяленіва	740	185
Хлеб, хлебапрадукты, мука, крупы, цукар	370	370
Кансервы фруктовыя і з агародніны, сокі, варэнне, джэм, мёд	740	185
Дзіцячае харчаванне	1850	37
Сухафрукты, сушаныя грыбы і дзікарослыя ягады	11100	3700
Свежыя грыбы і дзікарослыя ягады	1850	185
Іншыя прадукты харчавання		592

«35-БЭРНАЯ КАНЦЭПЦЫЯ»

Пасля аварыі на ЧАЭС НКРА былога СССР вызначыла асноўны крытэрый бяспекі насельніцтва, якое апынулася на забруджанай тэрыторыі. Прыхільнікі «маскоўскай канцэпцыі» зыходзяць з таго, што нічога страшнага з людзьмі не адбудзецца, калі яны будуць жыць на тэрыторыях, радыяцыйнае забруджванне якіх не перавышае 1480 кБк/м^2, ці 40 Кы/км^2 (Известия. 1990. 27 марта). Прымаецца, што звыш апраменьвання прыродным фонам і пры медыцынскіх працэдурах чалавек можа ў сярэднім атрымаць яшчэ па 5 мЗв (0,5 бэр) штогод за 70 гадоў жыцця (працягласць жыцця лічаць роўнай 70 гадам), гэта значыць 35 бэр (350 мЗв): 0,5 бэр · 70 гадоў. Тым самым насельніцтва аўтаматычна пераходзіць у катэгорыю Б апрамененых асоб.

Відавочна, што «35-бэрная канцэпцыя» з'яўляецца парогавай. Як ужо адзначалася, парога, ніжэй якога апраменьванне бяспечна, не існуе. Аднак вызначэнне граніц апраменьвання неабходна для планавання радыяцыйнай бяспекі ў тых выпадках, калі надфонавае

апраменьванне непазбежнае. Былі вызначаны і аварыйныя граніцы доз агульнага індывідуальнага апраменьвання насельніцтва ў раёнах з найбольшым радыяцыйным уздзеяннем: за першы год да 10 бэр (100 мЗв), за другі — 3 бэр (30 мЗв), за трэці — 2,5 бэр (25 мЗв), што складае 15,5 бэр (155 мЗв) за тры пасляаварыйныя гады.

Беларускія вучоныя не згадзіліся з канцэпцыяй НКРА «35 бэр за жыццё» і вылучылі сусветную, якая ў адрозненне ад «35-бэрнай» з'яўляецца беспарогавай. Канцэпцыю беларускіх вучоных падтрымліваюць усе кампетэнтныя радыебіёлагі як у былым СССР, так і ў іншых краінах. Яна прадугледжвае велічыню дозавай граніцы да 7 бэр (70 мЗв). Але як практычна праверыць, што няма перавышэння дозавай граніцы, калі эквівалентная доза не вымяраецца, а яе разлік залежыць ад якасці зыходнай інфармацыі? Мясцовыя медыкі не здолеюць правільна падлічыць дозавую граніцу з прычыны складанасці такога разліку.

Такім чынам, калі прыхільнікі «35-бэрнай канцэпцыі» зыходзяць з разліку дозавых граніц уздзеяння на чалавека за ўсё яго жыццё, то беларускія вучоныя за пункт адліку прымаюць шчыльнасць забруджвання мясцовасці радыенуклідамі: «Не можа чалавек жыць там, дзе нельга атрымаць чыстую прадукцыю, дзе ёсць якія-небудзь абмежаванні, фіксуюцца анамальныя эфекты — тады не мае сэнсу і прыманне дозы апраменьвання» (Правда. 1989. 18 ноября).

Канцэпцыя беларускіх вучоных лагічная: «Калі чалавек не можа харчавацца тым, што вырабляе на ўласнай зямлі, яго трэба адсяляць». Атрымліваецца парадокс: селянін не можа харчавацца тым, што ён вырабляе, лічыцца навукова неабходным забяспечваць яго «чыстымі» прадуктамі, а ён працягвае вырабляць свае забруджаныя, бо інакш яго жыццё і праца губляюць сэнс. Гэтыя забруджаныя радыенуклідамі прадукты развозіліся ўсюды.

Толькі за першы квартал 1989 г. было закуплена ў трох рэспубліках (РСФСР, УССР, БССР) 40,96 тыс. т малака, якое ўтрымлівала радыеактыўныя рэчывы звыш дазволенага ўзроўню (з 935,8 тыс. т усяго закупленага малака). А ўсё зерне, атрыманае ў 1988 г. на забруджанай тэрыторыі рэспублікі, поўнасцю рэалізавалася як харчы і фураж (Советская культура. 1989. 18 ноября).

ЛІКВІДАЦЫЯ ВЫНІКАЎ АВАРЫІ НА ЧАЭС

Аварыя на Чарнобыльскай АЭС — самая буйная аварыя за ўсю гісторыю атамнай энергетыкі. Яна ўскалыхнула былы СССР і ўвесь свет, закранула лёс мільёнаў людзей. Створаная ў дзень аварыі ўрадавая камісія, аператыўныя ўрадавыя групы ў рэспубліках з

забруджанымі тэрыторыямі, мноства спецыялістаў выканалі і выконваюць значную працу па выратаванні людзей і ліквідацыі вынікаў чарнобыльскай аварыі.

У гэтай рабоце амаль усё было нязведаным, рабіліся памылкі, але гэта была гераічная праца першапраходцаў, людзі не шкадавалі сіл і здароўя, імкнучыся зрабіць усё магчымае. Самааддана дзейнічаў персанал станцыі, інжынерна-тэхнічныя і медыцынскія работнікі, пажарнікі, ваеннаслужачыя. У рабоце прымалі ўдзел прамысловыя прадпрыемствы, будаўнічыя, транспартныя, навукова-даследчыя і іншыя арганізацыі, больш за 40 міністэрстваў і ведамстваў, Акадэміі навук Расіі, Украіны і Беларусі.

Першачарговай задачай пры ліквідацыі вынікаў аварыі было ажыццяўленне комплексу работ па спыненні радыеактыўных выкідаў у навакольнае асяроддзе з разбуранага рэактара. З дапамогай верталётаў з 27 красавіка па 10 мая 1986 г. ачаг аварыі закідваўся матэрыяламі, якія ажыццяўлялі фільтрацыю і адвод цяпла (бор, даламіт, пясок, гліна, вапняк, свінец — усяго скінулі каля 5 тыс. т). Гэта дазволіла істотна зменшыць, а затым і спыніць выкід радыеактыўнасці ў навакольнае асяроддзе.

Важным вынікам гэтай працы з'яўлялася будаванне над разбураным рэактарам бетоннага сховішча ("саркафага"). Яго вышыня перавышае 60 м.

З мэтай папярэджання распаўсюджвання радыеактыўнасці праз падземныя і паверхневыя воды ў раёне ЧАЭС быў створаны комплекс ахоўных і гідратэхнічных збудаванняў. У прыватнасці, каб ахаваць падземныя вадапомпавыя слаі ад забруджвання, вакол АЭС узвялі двухкіламетровую сцяну (у грунце на глыбіню 30 м), і тэрыторыю станцыі ад ракі Прыпяць аддзялілі дамбай, у якой для кантролю за міграцыяй радыенуклідаў прабурылі 170 свідравін. Адначасова з гэтым ажыццяўляліся дэзактывацыйныя работы на тэрыторыі і ў 30-кіламетровай зоне.

За перыяд з красавіка 1986 г. дзяржаўныя органы Расіі, Украіны і Беларусі прынялі шэраг рашэнняў аб дадатковых мерах па ўзмацненні аховы здароўя і паляпшэнні матэрыяльнага становішча насельніцтва, адсяленні жыхароў асобных населеных пунктаў з забруджаных тэрыторый і інш. Аднак гэтых мерапрыемстваў было недастаткова. Для далейшага вырашэння пытанняў ліквідацыі вынікаў аварыі на ЧАЭС сесія Вярхоўнага Савета Беларусі ў кастрычніку 1989 г. прымае Дзяржаўную праграму на 1990 — 1995 гг. і на перыяд да 2000 г. (такія ж праграмы прымаюцца ў Расіі і на Украіне).

Галоўная мэта гэтай праграмы — захаванне здароўя людзей, стварэнне бяспечных умоў для іх пражывання і працы, максімальная

ўвага да жыцця насельніцтва раёнаў з радыеактыўным забруджваннем.

Канкрэтныя кірункі праграмы наступныя:

адсяленне жыхароў з населеных пунктаў, небяспечных для пражывання, і размяшчэнне іх на новым месцы жыхарства;

павелічэнне ўзроўню медыцынскага абслугоўвання і аздараўлення насельніцтва (асабліва дзяцей), ахова мацярынства і дзяцінства, сацыяльнае забеспячэнне;

распрацоўка і шляхі рэалізацыі рэкамендацый па правядзенні тэхналогіі сельскагаспадарчай вытворчасці і перапрацоўчай прамысловасці ў адпаведнасць з варункамі радыеактыўнага забруджвання;

забеспячэнне насельніцтва чыстымі прадуктамі харчавання;

павышэнне ўзроўню народнай адукацыі, гандлёвага, культурнага, камунальна-бытавога і транспартнага абслугоўвання насельніцтва ў забруджаных раёнах;

павелічэнне эфектыўнасці работ па дэзактывацыі тэрыторыі і стабілізацыі радыяцыйнай сітуацыі;

навуковае забеспячэнне праблем, звязаных з нармальнай жыццядзейнасцю насельніцтва ў забруджаных раёнах;

арганізацыя верагоднай інфармацыі аб рабоце па ліквідацыі вынікаў аварыі.

Гэта разнастайная праграма, і яна прадугледжвае перш за ўсё змяншэнне ўплыву радыяцыі на чалавека, у тым ліку шляхам паэтапнага адсялення людзей з тэрыторыі, на якой забруджванне асяроддзя пражывання і прадуктаў харчавання можа выклікаць недапушчальнае вонкавае апраменьванне і збіранне ў арганізме чалавека радыеактыўных рэчываў у небяспечных дозах.

Згодна з праграмай у Беларусі ў 1990 — 1991 гг. было адселена 17 083 жыхароў з населеных пунктаў, якія знаходзяцца на забруджанай тэрыторыі з узроўнем 1480 кБк/м^2 і больш (40 Кы/км^2 і больш) і дзе не рэкамендуецца ажыццяўляць грамадскую сельскагаспадарчую вытворчасць. Жыхарам (96 508 чалавек) зоны пастаяннага кантролю (555—1480 кБк/м^2, ці 15—40 Кы/км^2) даецца права свабоднага выбару адсялення або пражывання ў дадзенай мясцовасці з атрыманнем кампенсацыі або дадатковых фінансавых і сацыяльных ільгот. У праграме ў першую чаргу прадугледжваецца адсяленне сямей з дзецьмі да 14 гадоў, цяжарных жанчын, а таксама асоб, якім па медыцынскіх паказаннях не рэкамендуецца пражыванне ў забруджанай зоне.

Каб адолець чарнобыльскую бяду, патрэбны дзесяцігоддзі. Адна наша рэспубліка не ў стане хутка папоўніць эканамічныя страты. Па ацэнках спецыялістаў, прамыя і пабочныя страты рэспублікі ад чарнобыльскай аварыі складаюць звыш 100 млрд рублей, што эквіва-

лентна недаатрыманню больш васьмі гадавых бюджэтаў (Вечерний Минск. 1991. 16 мая).

Прэзідыум Вярхоўнага Савета і Савета Міністраў Рэспублікі Беларусь звярнуліся за дапамогай да сусветнай суполкі. У звароце адзначалася, што хоць у рэспубліцы шмат зроблена для ўзнаўлення здароўя пацярпеўшых людзей, вынікі чарнобыльскай аварыі значна больш сур'ёзныя, чым гэта здаецца. Кіраўніцтва рэспублікі заклікала міжнародную грамадскасць дапамагчы ў ліквідацыі вынікаў трагедыі. І дапамога ўжо ідзе. Гэта сучаснае медыцынскае абсталяванне, медыкаменты, прадукты харчавання.

Як вядома, аздараўленне насельніцтва, асабліва дзяцей, з'яўляецца адным з патрабаванняў Дзяржаўнай праграмы па ліквідацыі вынікаў аварыі. У былым СССР вылучылі 43 раёны для лячэння і аздараўлення дзяцей Беларусі.

У 16 краінах Заходняй Еўропы знаходзіліся 1235 школьнікаў. Звыш 2000 падлеткаў выязджалі па запрашэнні розных грамадскіх арганізацый у Швецыю, Чэхію, Польшчу, ФРГ, Іспанію, Канаду, Ізраіль, ЗША, на Кубу; 3850 дзяцей адпачылі за мяжой рэспублікі па прамых дагаворах прадпрыемстваў і арганізацый Гомельскай, Магілёўскай і Брэсцкай абласцей; каля 4000 дзяцей запрасілі розныя краіны дзякуючы кантактам з камітэтам «Дзеці Чарнобыля».

АХОВА АД РАДЫЯЦЫІ

Для бяспечнай работы такой складанай сістэмы, як АЭС, патрабуюцца не толькі канструктарскія рашэнні, але і стварэнне сістэмы радыяцыйнай бяспекі як для персаналу і насельніцтва, так і для навакольнага асяроддзя. Кола пытанняў, звязаных са стварэннем сістэмы аховы ў атамнай энергетыцы, вельмі шырокае і вырашаецца спецыялістамі рознага профілю.

У гэтым раздзеле мы разгледзім праблему аховы насельніцтва ад апраменьвання ў аварыйнай сітуацыі.

Пры любым відзе аварыі прымаюцца меры, накіраваныя на ахову здароўя насельніцтва, асабліва тых людзей, што пражываюць у раёнах паблізу ад аб'ектаў АЭС.

Галоўным фактарам радыяцыйнай небяспекі ў гэтых экстрэмальных варунках з'яўляецца γ-выпраменьванне. Разгледзім тры магчымыя спосабы аховы ад гэтага віду выпраменьвання (ахова ад α- і β-прамянёў разглядалася ў гл. 1) — часам, адлегласцю і экраніроўкай.

Асабліва яркі прыклад «аховы часам» паказвае хранікальна-дакументальны фільм аб пасляаварыйнай рабоце на ЧАЭС. Людзі, якія накіроўваліся на дэзактывацыю даху машыннага ўчастка, па-

пярэдне атрымлівалі інструктаж: «Як толькі выходзіш з люка, пачынай лічыць: адзін, два, тры, і так да дзевяноста. Калі далічыш, чым бы ні займаўся, — кідай усё і бягом да люка!». Тэрмін «ахова часам» у дадзеным выпадку замяняе дакладнае, але больш грубасткае «вызначэнне дапушчальнай працягласці працы ў полі выпраменьвання».

Наступны прынцып аховы ад γ-выпраменьвання — «ахова адлегласцю». Агульнавядома, што выпраменьванне пунктавай крыніцы раўнамерна распаўсюджваецца ва ўсе бакі. Адсюль вынікае, што інтэнсіўнасць выпраменьвання зніжаецца з павелічэннем адлегласці ад крыніцы па законе адваротных квадраў. Такім чынам, пры павелічэнні адлегласці ад крыніцы выпраменьвання ў 2 або 3 разы інтэнсіўнасць яго змяншаецца адпаведна ў 4 і 9 разоў і г. д. Так, калі трэба вызначыць картаграму гама-поля з дозай вельмі высокай магутнасці, то гэта робяць з максімальным аддаленнем ад такога ўчастка.

Трэці прынцып — «ахова з прымяненнем экранаў», або паглынаннем. Ахоўныя ўласцівасці матэрыялаў вызначаюцца каэфіцыентам аслаблення выпраменьвання для γ-прамянёў. Выкарыстоўваючы такія звесткі, атрымліваюць асноўныя параметры матэрыялаў аховы — слой палавіннага аслаблення, які для фатонаў з энергіяй 1 МэВ складае 1,3 см свінцу або 13 см бетону.

Гэты прынцып быў выкарыстаны ў падрэактарным памяшканні чацвёртага блока ЧАЭС, які абралі для ўвядзення аднаго з першых вымяральных зондаў у вобласць актыўнай зоны. Дазіметрычнае абследаванне выявіла рэзкую нераўнамернасць поля і магутную лакальную крыніцу γ-выпраменьвання ўнутры аднаго з трубаправодаў памяшкання. Экраніроўка такога ўчастка свінцовым лістом зменшыла магутнасць дозы і дазволіла давесці радыяцыйную сітуацыю ў аператарскай да дапушчальнай.

Другі прыклад. На кожнай АЭС асноўнай крыніцай радыяцыі з'яўляюцца прадукты распаду, якія ўтвараюцца пры згаранні ядзернага паліва і збіраюцца ў паліве да выгрузкі рэактара. Адзіная магчымасць аховы ядзернага рэактара — яго надзейная ізаляцыя. Так, у канцы тэрміну ў рэактары РВМК утрымліваецца 1500 МКы (крыніца 1 Кы на адлегласці 1 м стварае магутнасць дозы 1 Р/гадз). Грубы разлік паказвае, што нават у дзесятках метраў ад неабароненай зоны магутнасць дозы γ-выпраменьвання перавышае тысячы рэнтген у гадзіну. Гэта азначае, што неабаронены рэактар смяротна небяспечны для чалавека.

У сувязі з гэтым для аховы ад γ-выпраменьвання актыўную зону рэактара абкружаюць бетонным слоем. Таўшчыня слоя павінна быць такой, каб магутнасць дозы ў працоўных памяшканнях не перавышала гранічна дапушчальнага значэння.

Пры нармальнай працы АЭС насельніцтва навакольнай мясцовасці ізалюецца ад радыяцыі ядзернага рэактара некалькімі ахоўнымі бар'ерамі.

Ахоўныя мерапрыемствы пры ліквідацыі вынікаў аварыі на ЧАЭС можна падзяліць на тры этапы: раннія, прамежкавыя і ўзнаўленчыя.

Раннія этапы ліквідацыі вынікаў аварыі азначаюць наступнае. Пры выкідзе сумесі лятучых прадуктаў падзелу ядзер з рэактара ствараецца воблака, у якім спачатку дамінуюць радыеактыўныя высакародныя газы (крыптон, ксенон і інш.) з магутным γ-выпраменьваннем. Для аховы ад пранікаючага γ-выпраменьвання гэтага воблака радыенуклідаў патрабуецца ахова з прымяненнем экранаў. Такой аховай могуць з'яўляцца ўласцівасці жылых дамоў. Яны маглі б забяспечыць змяншэнне дозы вонкавага γ-апраменьвання ад 2 да 10 разоў адпаведна ў драўляных або мураваных дамах і ад 7 да 100 разоў пры знаходжанні адпаведна ў сутарэннях гэтых дамоў. На жаль, гэты фактар змяншэння радыяцыйнай небяспекі застаўся нявыкарыстаным, паколькі ў першыя гадзіны пасля аварыі на ЧАЭС насельніцтва не атрымала ўказання схавацца ў дамах або сутарэннях. Дарэчы кажучы, аварыя адбылася ноччу, але раніцай не было ўказанняў не выходзіць з дамоў, не адчыняць фортку і вокны.

Прамежкавыя меры аховы звязаны з паступленнем ізатопаў ёду ў асноўным па харчовым ланцужку «трава — карова — малако — шчытападобная залоза». Для прадухілення паўторнага апраменьвання насельніцтва за кошт канцэнтрацыі радыеактыўнага ёду-131 было забаронена выкарыстоўваць малако з забруджаных раёнаў і створаны пункты радыеметрычнага кантролю малочных прадуктаў. Апроч гэтых ахоўных мер, насельніцтва само прызначала сабе прэпараты стабільнага ёду, якія насычалі шчытападобную залозу і блакіравалі яе ад збірання радыенуклідаў. У дадзеным выпадку калію ёдыд, які прымаўся насельніцтвам, з'яўляецца комплексастваральным рэчывам. Ён звязвае ёд-131 у злучэнні, якія перашкаджаюць яго адкладанню ў шчытападобнай залозе і садзейнічаюць больш хуткаму вывядзенню з арганізма.

Аднак жыхары не мелі дастатковай інфармацыі аб дозах прымання стабільнага ёду. У шэрагу выпадкаў у сувязі з перадазіроўкай калію ёдыду адзначаліся хімічныя таксікозы.

Узнаўленчы этап характарызуецца такімі ахоўнымі мерапрыемствамі, як удасканаленне кантролю ступені забруджвання прадуктаў харчавання і вады, медыцынскі кантроль за станам здароўя, дэзактывацыйныя работы і перавод радыенуклідаў у нерастваральныя злучэнні. Шляхам селектыўнага паглынання змяншаўся шкодны ўплыў даўгавечных радыенуклідаў на харчовы ланцужок; уводзіліся

ў глебу злучэнні кальцыю, якія звязваюць стронцый-90 і прадухіляюць яго паглынанне раслінамі, і калійныя ўгнаенні, якія засцерагаюць расліны ад радыеактыўнага цэзію; адбывалася таксама планавае адсяленне насельніцтва. Абавязковаму адсяленню падлягаюць людзі, якія пражываюць на тэрыторыях з узроўнем забруджанасці цэзіем-137 звыш за 555 кБк/м^2 (звыш за 15 Кы/км^2).

Быў ажыццёўлены шэраг мер па ахове грамадзян. На асабліва забруджанай тэрыторыі знішчылі хатнюю жывёлу; вывелі з карыстання гектары ўрадлівай забруджанай зямлі; ажыццявілі дэзактывацыю сельскагаспадарчых зямель вакол Чарнобыля. У ахоўныя меры ўваходзіць і пабудова бетоннага «сховішча» над разбураным рэактарам; апячатванне старых студняў і падрыхтоўка новых, больш глыбокіх; будаўніцтва дамбы для аховы вадаёмаў ад радыяцыі; асфальтаванне дарог і мыццё будынкаў. Ва ўсіх выпадках з мэтай аховы здароўя чалавека выкарыстоўваюцца дастаткова шырокія сродкі для падтрымання ўзнаўленчых сіл яго арганізма.

Адным з такіх сродкаў з'яўляецца харчаванне. Яно павінна быць рэгулярным, паўнацэнным, разнастайным, з дастатковым утрыманнем бялкоў, тлушчавых злучэнняў, вугляводаў, вітамінаў і мінеральных рэчываў. Разгледзім, якую ролю адыгрываюць асноўныя інгрэдыенты ежы ў жыццядзейнасці арганізма чалавека.

Слова «бялок» паходзіць ад грэчаскага «пратэін», што азначае галоўны. Бялкі маюць першароднае значэнне для рэгулявання ўсіх жыццёвых працэсаў у клетках і органах, у тым ліку і працэсаў перапраўлівання ежы. У малекуле бялка размяшчаецца вялікая колькасць амінакіслот. Цяпер вылучылі дваццаць дзве, восем з іх лічацца незаменнымі. Да найбольш паўнацэнных бялкоў, якія ўтрымліваюць незаменныя амінакіслоты, належаць бялкі мяса, рыбы, птушкі, яек, малака і малочных прадуктаў, а таксама зерня (проса, рысу).

Бялкі з'яўляюцца будаўнічым матэрыялам для нашага арганізма. Сутачная патрэбнасць яго ў бялках складае 80 — 100 г.

У апошні час з залішнім спажываннем бялкоў пачалі звязваць розныя захворванні арганізма, у тым ліку хваробы, якія абумоўлены недахопам кальцыю (астэапароз — разрэджванне касцявога рэчыва ў костках) і збіранне у арганізме таксічных рэчываў. У адпаведнасці з прынцыпам селектыўнага засвойвання нязначныя запасы кальцыю для асоб, якія пражываюць у забруджанай зоне, з'яўляюцца фактарам рызыкі, таму што гэта можа выклікаць узмоцненае паглынанне радыеактыўнага стронцыю.

Тлушчавыя злучэнні, ад якіх яшчэ нядаўна чалавек імкнуўся адмовіцца з-за боязні захварэць атэрасклерозам, з'яўляюцца найбольш рэальнымі пастаўшчыкамі некаторых процісклератычных рэчываў. Таму думку, згодна з якой трэба рэзка павялічыць

спажыванне алею за кошт сметанковага масла і іншых тлушчавых злучэнняў, трэба лічыць не зусім слушнай.

З другога боку, спажыванне тлушчавых злучэнняў таксама садзейнічае стварэнню свабодных радыкалаў, якія ўплываюць на працэсы ў клетках, аслабляюць імунную сістэму.

Вялікае спажыванне тлушчавых злучэнняў выклікае атлусценне і адпаведна сардэчна-сасудзістыя хваробы і дыябет.

Сутачнае спажыванне алею складае 25 г і такой жа з'яўляецца дапушчальная сутачная норма для тлушчавых злучэнняў жывёльнага паходжання (сметанковае масла).

Пасля чарнобыльскай аварыі даўгавечныя радыенукліды (цэзій і стронцый) на забруджаных тэрыторыях могуць уздзейнічаць на прадукты харчавання на працягу многіх гадоў. Ведаць аб гэтым вельмі істотна.

У сучаснай медыцыне ёсць доказы таго, што правільна арганізаванае харчаванне садзейнічае абясшкоджванню і вывядзенню радыенуклідаў з арганізма. Гэты факт мае для нас важнае значэнне. Ён паказвае, што ахова ад уздзеяння малых доз рэальная і шмат у чым залежыць ад нас саміх.

Цяпер найбольшую небяспеку для насельніцтва Рэспублікі Беларусь уяўляе ўнутранае апраменьванне з прычыны спажывання забруджаных прадуктаў з даўгавечнымі радыенуклідамі цэзію, стронцыю і плутонію.

Павышаная небяспека ад радыенуклідаў, што трапілі ўнутр арганізма, абумоўлена некалькімі прычынамі. Адна з іх — значны час да моманту вывядзення нуклідаў з арганізма ці змяншэнне актыўнасці з прычыны радыеактыўнага распаду нуклідаў. З мэтай характарыстыкі вывядзення нуклідаў з арганізма выкарыстоўваюць паняцце перыяду паўвывядзення. Адрозніваюць біялагічны $T_б$ і эфектыўны $T_{эф}$ перыяды паўвывядзення.

Біялагічны перыяд паўвывядзення — гэта час, за які актыўнасць нукліду, што назапасіўся ў арганізме (ці органе), памяншаецца ўдвая толькі ў выніку працэсаў біялагічнага вывядзення. Эфектыўны перыяд паўвывядзення прадстаўляе сабой час, за які актыўнасць нукліду ў арганізме ці яго часткі памяншаецца ўдвая за кошт біялагічнага вывядзення і радыеактыўнага распаду нукліду:

$$T_{эф} = T_б T_{1/2}/(T_б + T_{1/2}),$$

дзе $T_б$ — біялагічны перыяд паўвывядзення; $T_{1/2}$ — перыяд паловы распаду нукліду (фізічны).

Разгледзім, за які час выводзяцца з арганізма чалавека цэзій-137, стронцый-90 і плутоній-239. Цэзій-137 выводзіцца з арганізма чалавека праз 70 сутак, з мышцаў, лёгкіх і шкілета — праз 140 сутак. Вывядзенне цэзію адбываецца праз ныркі і стрававальны тракт (у суадносінах 4:1). Адзначана вывядзенне цэзію-137 з малаком самкі, што корміць дзіця, яго праходжанне праз плацэнтарны бар'ер.

Стронцый-90 з арганізма выводзіцца з калам і мачой. Пры пераральным паступленні ён больш выдзяляецца з калам. Устаноўлена некалькі перыядаў паўвывядзення стронцыю-90 з арганізма: кароткі (2,5 — 8,5 сутак) — з мягкіх тканак; доўгі (да 154 сутак) — пераважна з касцей. З малаком у жывёл і чалавека пасля аднакратнага пераральнага паступлення ў час лактацыі выдзяляецца 0,04 — 4 % стронцыю-90 на 1 л адведзенага малака. Пры хранічным яго паступленні ў арганізм з малаком выдзяляецца 0,05 — 6,3 % на 1 л адносна сутачнай нормы.

Плутоній незалежна ад шляху паступлення і хімічнай формы, а таксама віду жывёлы адкладваецца ў шкілеце, печані і нырках. У выпадку паступлення плутонію ў прафесійных умовах лічаць, што ў шкілеце і печані ён адкладваецца прыкладна ў аднолькавых колькасцях — па 45 %. Біялагічны перыяд паўвывядзення яго са шкілета састаўляе 100 гадоў, з печані — 40, а з лёгкіх — 250 — 500 сутак.

Такім чынам, уздзеянне радыенуклідаў на арганізм залежыць ад балансу яго паступлення і вывядзення.

Асноўную ролю ў ахове насельніцтва ад уздзеяння радыеактыўных рэчываў павінны адыграць арганізацыйныя і тэхналагічныя мерапрыемствы, якія змяншаюць вонкавае і ўнутранае апраменьванне. Аднак гэтыя меры не здолеюць поўнасцю ахаваць людзей, якія пражываюць на забруджанай тэрыторыі, ад уздзеяння такіх фактараў, як працяглае паступленне з ежай радыенуклідаў цэзію, стронцыю і плутонію. Таму ў змяншэнні паступлення радыенуклідаў разам з прадуктамі харчавання вялікае значэнне мае асабістая прафілактыка.

Для змяншэння паступлення радыенуклідаў у арганізм з ежай трэба выконваць наступныя правілы:

выкарыстоўваць у ежу толькі кансерваванае малако і харчовыя прадукты, якія захоўваліся ў зачыненых памяшканнях і не з'яўляюцца радыеактыўна забруджанымі. Не піць малако ад кароў, якія працягваюць пасвіцца на забруджаных палях; абмежаваць спажыванне мясцовых забруджаных прадуктаў, асабліва грыбоў (маслякі, махавікі); рупліва мыць агародніну і садавіну; чысціць усе караняплоды; папярэдне вымочваць мяса ў халоднай вадзе на

працягу 2 — 3 гадзін, ужываць «другасныя» булёны; не піць ваду з адкрытых крыніц; накрываць студні цыратай або накрыўкамі; ажыццяўляць рацыянальную кулінарную апрацоўку прадуктаў (уплыў тэхнічнай і кулінарнай апрацоўкі на ўтрыманне цэзію-137 і стронцыю-90 у прадуктах харчавання прыведзены ў табл. 20); пазбягаць працяглых перамяшчэнняў на забруджанай тэрыторыі, асабліва па запыленай дарозе; мяняць абутак, уваходзячы ў памяшканне з вуліцы, і пакідаць «брудны» на ганку. Пры руху на адкрытай мясцовасці неабходна выкарыстоўваць дапаможныя сродкі аховы: органы дыхання — прыкрыць рот і нос намочанымі вадой любой часткай адзення, насоўкай або складзенай у некалькі слаёў марляй (бінтом); скура і валасы — прыкрыць любымі прадметамі адзення (пальчаткі, хустка, шапка).

Табл. 20. **Змена ўтрымання радыенуклідаў у прадуктах харчавання ў залежнасці ад тэхнічнай і кулінарнай апрацоўкі**

Зыходны прадукт	Гатовая страва, прадукт	Памяншэнне ўтрымання радыенуклідаў у параўнанні з зыходным	
		цэзій-137	стронцый-90
Малако	Тварог	У 4 — 6 разоў	У 3 — 7 разоў
	Сыр	У 10 разоў	У 2 разы
	Масла	У 50 разоў	У 100 разоў
	Смятанка	У 4 — 14 разоў	У 20 разоў
Смятанка	Масла	У 6 разоў	У 6 разоў
Ялавічына сырая	Ялавічына адварная	У 2 разы	У 2,5 разы
	Булён	Да 50 % ад утрымання ў сырой ялавічыне	Да 40 % ад утрымання ў сырой ялавічыне
Рыба (сырая)	Рыба адварная	У 10 разоў	У 2 разы
	Рыба смажаная	У 1,7 раза	Практычна не змяняецца
	Юшка (булён)	Да 90 % ад утрымання ў рыбе	Да 2 — 3 % ад утрымання ў рыбе
Бульба	Бульба адварная	У 1,7 раза	У 2 разы
Зерне (пшаніца, жыта, ячмень, грэчка)	Хлеб, крупы	У 1,2 — 2,5 разы	У 1,5 — 3 разы

Апроч гэтых правіл, кожны жыхар рэспублікі ва ўмовах уздзеяння радыенуклідаў павінен мець разнастайны рацыён харчавання, ведаць, што кожны прадукт па-рознаму збірае радыенукліды.

Харчовы рацыён павінен утрымліваць такія рэчывы, якія садзейнічаюць звязванню і выдзяленню радыенуклідаў з арганізма, а таксама валодаюць антыакісляльнымі ўласцівасцямі. Спынімся на гэтым пытанні больш падрабязна.

Тармозяць працэсы акіслення біямалекул пры радыяцыйным уздзеянні вітаміны (А, С, Е, B_{12}) і мінеральныя рэчывы (калій, кальцый, жалеза, селен, ёд і інш.), фізіялагічную норму паступлення якіх пажадана павялічыць. Спажыванне вітамінаў павінна быць сістэматычным, паколькі ў працэсах абмену рэчываў яны безупынна выдаткоўваюцца, а ў арганізме звычайна не сінтэзуюцца.

Вітаміны падзяляюцца на дзве вялікія групы: тыя, што раствараюцца ў тлушчавых злучэннях, і тыя, што раствараюцца ў вадзе. Да першых належаць вітаміны А (рэтынол), Е (такаферол) і інш.; да другіх — вітамін С (аскарбінавая кіслата), вітаміны групы В і інш.

В і т а м і н А ў вялікай колькасці ўтрымліваюць ялавічная печань, яечны жаўток, алей і сметанковае масла, рыбін тлушч, смятанка, некаторыя раслінныя прадукты — морква, пятрушка, зялёная цыбуля, салата, памідоры, шчаўе, персікі, абрыкосы. Усе караціны (правітаміны А), якія ператвараюцца ў арганізме ў вітамін А, разглядаюцца як вітамін А. Сутачная патрэбнасць дарослага арганізма ў ім 1 — 1,5 мг. Вітамін А мае шмат розных уздзеянняў, у тым ліку папярэджвае захворванне ракам і засцерагае ад радыяцыі.

В і т а м і н у С асабліва шмат у шыпшыне, чорнай парэчцы, рабіне, капусце, лімонах, таматах, зялёным гарошку, чарніцах, зялёнай цыбулі, радысу. Сутачная патрэбнасць у ім — 50—110 мг. Поруч з іншымі вітамін С валодае антыакісляльным уздзеяннем, абясшкоджвае радыеактыўныя рэчывы, дапамагае вылучыць з арганізма свабодныя радыкалы, умацоўвае імунную сістэму, а таксама, як паказалі даследаванні, ахоўвае клеткі ад уздзеяння радыяцыі. У цэлым вітамін С адыгрывае вялікую ролю ў дэзінтаксікацыі арганізма. Ёсць эксперыментальныя доказы таго, што клеткі не ператвараюцца ў ракавыя пасля рэнтгенаўскага апраменьвання, калі ў іх прысутнічае вітамін С.

В і т а м і н Е з'яўляецца сродкам аховы арганізма ад радыяцыйнага ўздзеяння, паколькі ён процідзейнічае свабодным радыкалам і валодае антыакісляльным дзеяннем. Яго ўтрымліваюць алей, асабліва нерафінаваны, яйкі, крупы (грэчка), бабовыя, хлеб з мукі грубага памолу, рыба, садавіна і агародніна, арэхі. Сутачная доза — 12—17 мг.

В і т а м і н B_{12} (ц ы я н а к а б а л а м і н) адыгрывае важную ролю ў папярэджванні малакроўя, блакіруе паглынанне

кобальту-60. Ён ёсць у рыбе, марской капусце і г. д. Сутачная доза — 3,0 мкг.

Трэба ўлічваць сезонную недастатковасць утрымання вітамінаў у прадуктах. Таму вясной і зімой рэкамендуецца рэгулярна прымаць таблеткі полівітамінных прэпаратаў тыпу «Ундэвіт».

Арганізацыя рацыянальнага, разнастайнага харчавання немагчымая без уключэння ў харчовы рацыён мінеральных элементаў.

К а л і й утрымліваюць бульба, дыні, разынкі, яблыкі, апельсіны, тварог, валоскія арэхі. Садзейнічае рэгуляванню pH у арганізме чалавека і блакіруе паглынанне цэзію-137.

К а л ь ц ы ю шмат у агародніне (капуста, рэпчатая цыбуля, турнэпс), міндальных арэхах, бабовых (гарох, фасоля), цэльным зерні, рыбе, малаку. Папярэджвае паглынанне арганізмам радыеактыўнага стронцыю-90.

Ж а л е з а знаходзіцца ў агародніне (зялёная і марская), арэхах, бабовых, цэльным зерні (проса, аўсяныя крупы). Блакіруе паглынанне плутонію.

Ё д ёсць у некаторых відах агародніны, калі яна вырошчваецца ў глебе з утрыманнем ёду. Блакіруе паглынанне радыеактыўнага ёду-131.

С е л е н утрымліваюць цэльнае зерне, некаторыя віды агародніны, рыба, часнок. Ён ажыццяўляе ахову ад свабодных радыкалаў і тым самым процідзейнічае разбуральнаму ўздзеянню радыяцыі невысокага ўзроўню.

Мы адзначылі функцыі мінеральных элементаў толькі проціраядыяцыйнай накіраванасці. Для нармальнай жыццядзейнасці арганізма неабходныя таксама мінеральныя солі фосфару, магнію, натрыю, марганцу, цынку, кобальту, фтору і інш.

Некаторыя рэцэпты напіткаў проціраядыяцыйнага дзеяння. Да напіткаў проціраядыяцыйнага дзеяння адносяцца настоі, адвары, вітамінная гарбата і інш.

Настоі

Н а с т о й — вадкая лекавая форма — выцяжка з раслін. Яе гатуюць з сухіх пладоў і высушаных пераважна мяккіх частак раслін — лістоў, кветак, сцёблаў з разліку 1 сталовая лыжка сыравіны на 1 шклянку вады. Сыравіну здрабняюць, змяшчаюць у эмаліраваную пасудзіну, залiваюць кіпетнем, закрываюць накрыўкай і награваюць 15 хвілін на вадзяной лазні з кіпеннем. Ахалоджваюць не менш чым 45 хвілін пры хатняй тэмпературы, затым працэджваюць праз марлю. Прымаць па паўшклянцы 3 разы ў дзень.

1) 5 сталовых лыжак пладоў шыпшыны, 5 сталовых лыжак пладоў брусніц;

2) 5 сталовых лыжак пладоў шыпшыны, 5 сталовых лыжак пладоў маліны;

3) па 2,5 сталовай лыжкі пладоў шыпшыны, маліны, лістоў чорных парэчак і брусніц.

Адвары

А д в а р — вадкая лекавая форма — воднае атрыманне галоўным чынам са шчыльных частак раслін: кары, каранёў. Суадносіны сыравіны і вады 1:10. У адрозненне ад настояў адвар кіпяцяць 10 хвілін, затым настойваюць на працягу 2 гадзін, працэджваюць і п'юць па шклянцы 2 разы ў дзень цёплым з 1 чайнай лыжкай мёду.

1) 5 сталовых лыжак пладоў сухой або свежай яркай рабіны;

2) 1 шклянка аўса, 1 шклянка высушаных яблыкаў (папярэдне прамываць);

3) 5 сталовых лыжак шыпшыны, 3 — 4 чайныя лыжкі мёду.

Вітамінная гарбата

Г а р б а т а ўтрымлівае больш за 100 біялагічна каштоўных рэчываў. Тыя антыакісляльнікі — катэхіны, якія ёсць у гарбаце, значна змяншаюць збіранне ў касцях радыестронцыю з прычыны сваёй здольнасці звязваць і выдзяляць яго з арганізма.

1) 2 сталовыя лыжкі сумесі (па адной частцы сухіх пладоў шыпшыны, маліны, рабіны, чорных парэчак, брусніц, лістоў чорных парэчак, маліны, брусніц) заварыць дзвюма шклянкамі кіпетню, настойваць 4 гадзіны ў закрытай пасудзіне. Піць па паўшклянцы з 1 чайнай лыжкай мёду 2 разы ў дзень;

2) 1 сталовую лыжку сумесі сухіх лістоў (шыпшыны, абляпіхі, рабіны, маліны, чорных парэчак, агрэсту, ажыны, чарніц, травы чабору, мацярдушкі, шчамяліцы, святаянніку) здрабніць, заварыць 1 л кіпетню, дадаць 2 — 3 лыжкі пладоў з гэтай жа сумесі. Піць па паўшклянкі з 1 чайнай лыжкай мёду.

У радыеахоўным уздзеянні вялікае значэнне набываюць і прадукты з харчовых валокнаў — клятчаткі. Яны паляпшаюць дзейнасць кішэчніка, паскараюць вылучэнне радыенуклідаў са стрававальнага тракта. Сутачнае ўтрыманне харчовых валокнаў — 15—20 г, у тым ліку 5 — 8 г пекціну, крыніцай якога з'яўляюцца капуста, морква, агуркі, баклажаны, грушы, яблыкі, маліна, парэчкі.

Пекціны садзейнічаюць выдзяленню радыенуклідаў, якія цыркулююць у крыві, а таксама дэпаніраваных у органах і тканках.

На заканчэнне неабходна нагадаць, што ўсе размовы аб радыеахоўным або нейкім лячэбным уздзеянні алкаголю, у тым ліку і віна тыпу «Кабернэ», пры прамянёвай хваробе не маюць ніякіх аб'ектыўных і навуковых падстаў. Навуковыя даследаванні паказваюць, што прыманне алкаголю не аказвае прафілактычнага ўздзеяння пры апраменьванні арганізма чалавека, болей таго — узмацняе развіццё прамянёвага пашкоджання.

Дысцыпліна і арганізаванасць, строгае выкананне правіл радыяцыйнай аховы і дадзеных рэкамендацый — залог захавання здароўя.

ЛІТАРАТУРА

Абагян А. А., Асмолов В. Г., Гуськова А. К. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атом. энергия. 1986. Вып. 5. С. 301 — 320.

Аверьянова А. В., Луговский В. П., Русак И. М. Что нужно знать о радиации. Мн., 1992.

Анненков Б. Н., Юдинцева Е. В. Основы сельскохозяйственной радиологии. М., 1991.

Антонов В. П. Радиационная обстановка и ее социально-психологические аспекты. Киев, 1987.

Антонов В. П. Уроки Чернобыля: радиация, жизнь, здоровье. Киев, 1989.

Арефьева З. С., Бадьин В. И., Гаврилин Б. И. и др. Руководство по оценке доз облучения щитовидной железы при поступлении радиоактивных изотопов йода в организм человека. М., 1988.

Бабаев Н. С., Демин В. Ф., Ильин Л. А. и др. Человек и окружающая среда. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1984.

Белоокая Т. В. Мы все — дети Чернобыля // «Чернобыль-индекс». 1991. С. 7.

Булдаков Л. А. Радиоактивные вещества и человек. М., 1990.

Булдаков Л. А., Гусев Д. И., Гусев Н. Г. и др. Радиационная безопасность в атомной энергетике. М., 1981.

Бурназян А. И., Гуськова А. К. Массовые радиационные поражения и вопросы организации медицинской помощи. М., 1987.

Гофман Джон. Чернобыльская авария: Радиационные последствия для настоящего и будущих поколений / Пер. с англ. Э. И. и О. А. Волмянских. Мн., 1994.

Гусев Н. Г., Беляев В. А. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справ. М., 1986.

Гуськова А. К., Баранова А. В., Друтман Р. Д. и др. Руководство по организации помощи при радиационных авариях. М., 1986.

Дворецкий А. И., Айрапетян С. Н., Шаинская А. М., Чеботарев Е. Е. Трансмембранный перенос ионов при действии ионизирующей радиации на организм. Киев, 1990.

Израэль Ю. А., Вакуловский С. М., Ветров В. А. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. Л., 1990.

Казаков В. С., Матюхин В. А., Астахова Л. Н. и др. Состояние здоровья населения Республики Беларусь, подвергшегося воздействию радионуклидов в связи с аварией на ЧАЭС // Катастрофа на Чернобыльской АЭС и оценка состояния здоровья населения Республики Беларусь: Сб. науч. тр. Мн., 1991. С. 3.

Каталог доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Белор. НИИ радиац. медицины. Мн., 1991.

Козлов В. Ф. Справочник по радиационной безопасности. 3-е изд., перераб. и доп. М., 1987.

Крисюк Э. М. Радиационный фон помещений. М., 1989.

Кулландер С., Ларссон Б. Жизнь после Чернобыля: Взгляд из Швеции. 1991.

Люцко А. М. Фон Чернобыля. Мн., 1990.

Люцко А. М. Радиоактивность и радиационная безопасность. Мн., 1992.

Люцко А. М., Ролевич И. В., Тернов В. И. Выжить после Чернобыля. Мн., 1990.

Максимов М. Т., Оджагов Г. О. Радиоактивные загрязнения и их измерение. М., 1989.

Маргулис У. Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. М., 1988.

Машкович В. П., Панченко А. М. Основы радиационной безопасности. М., 1990.

Моисеев А. А., Иванов В. И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. 4-е изд., перераб. и доп. М., 1990.

Моссэ И. Б. Радиация и наследственность: Генетические аспекты противорадиационной защиты. Мн., 1990.

Никберг И. И. Ионизирующая радиация и здоровье человека. Киев, 1989.

Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и основные санитарные правила ОСП-72/87. М., 1988.

Океанов А. Е., Аверкин Ю. И. Анализ заболеваемости населения Беларуси злокачественными новообразованиями до и после аварии на Чернобыльской АЭС // Катастрофа на Чернобыльской АЭС и оценка состояния здоровья населения Республики Беларусь: Сб. науч. тр. Мн., 1991. С. 25.

Радиационная защита населения: Публикации 40, 43 МКРЗ: Пер. с англ. М., 1987.

Радиация, дозы, эффекты, риск: Пер. с англ. М., 1990.

Сивинцев Ю. В. Радиация и человек. М., 1987.

Сивинцев Ю. В. Насколько опасно облучение? М., 1988.

Холл Э. Дж. Радиация и человек: Пер. с англ. М., 1986.

Чернобыльская катастрофа и трагедия Белоруссии. Мн., 1990.

Шеннон С. Питание в атомном веке: Пер. с англ. Мн., 1991.

Ярмоненко С. П. Радиобиология человека и животных. М., 1988.

ЗМЕСТ

Вучэбнае выданне

ДАРАШКЕВІЧ Мечыслаў Пятровіч
ГАПАНОВІЧ Людміла Барысаўна

АСНОВЫ РАДЫЯЦЫЙНАЙ БЯСПЕКІ

Рэдактар *Л. В. Руткоўская*
Мастак вокладкі *Л. У. Яфімава*
Мастацкі рэдактар *В. А. Ярашэвіч*
Тэхнічны рэдактар *Н. А. Лебядзевіч*
Карэктар *Н. Б. Кучмель*

Падпісана да друку 30.06.95. Фармат 60×90/16. Папера газетная. Гарнітура Таймс. Афсетны друк. Умоўн. друк. арк. 8. Умоўн. фарбаадбіт. 8,25. Ул.-выд. арк. 8,07. Тыраж 2500 экз. Зак. 5304.

Выдавецтва «Вышэйшая школа» Міністэрства культуры і друку Рэспублікі Беларусь. Ліцэнзія ЛВ № 5. 220048, Мінск, праспект Машэрава, 11.

Друкарня «Перамога», 222310, г. Маладзечна, вул. Таўлая, 11.

Асновы радыяцыйнай бяспекі